

Rec'd PCT/PTO 07 DEC 2004

PCT/JP03/03956

28.03.03

本 国 特 許
JAPAN PATENT OFFICE

10/517139

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application:

2002年 7月22日

出 願 番 号

Application Number:

特願2002-212891

[ST.10/C]:

[JP2002-212891]

出 願 人

Applicant(s):

本田技研工業株式会社

REC'D 23 MAY 2003

WIPO

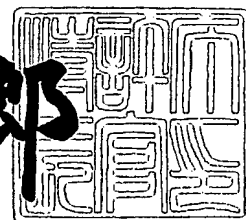
PCT

PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)

2003年 5月 9日

特 許 庁 長 官
Commissioner,
Japan Patent Office

太田信一郎



出証番号 出証特2003-3033920

【書類名】 特許願
【整理番号】 PSK58291HT
【提出日】 平成14年 7月22日
【あて先】 特許庁長官殿
【国際特許分類】 G05D 23/19
F01N 9/00

【発明者】

【住所又は居所】 埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会社本田技術研
究所内

【氏名】 安井 裕司

【発明者】

【住所又は居所】 埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会社本田技術研
究所内

【氏名】 岩城 喜久

【特許出願人】

【識別番号】 000005326

【氏名又は名称】 本田技研工業株式会社

【代理人】

【識別番号】 100077805

【弁理士】

【氏名又は名称】 佐藤 辰彦

【選任した代理人】

【識別番号】 100077665

【弁理士】

【氏名又は名称】 千葉 剛宏

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 015174

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9711295

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】

排ガスセンサの温度制御装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

内燃機関の排気通路に配置され、該排気通路を流れる排ガスに接触する素子部と該素子部を加熱するヒータとを有する排ガスセンサの温度制御装置であって、

前記素子部の温度を表す素子温度データを逐次取得する手段と、前記ヒータの温度を表すヒータ温度データを逐次取得する手段と、前記素子温度データが表す素子部の温度が所定の目標温度になるように前記ヒータへの発熱用エネルギーの供給量を規定する制御入力を逐次生成し、その制御入力に応じてヒータを制御するヒータ制御手段とを備え、該ヒータ制御手段が生成する制御入力は、少なくとも前記素子温度データが表す素子部の温度と前記目標温度との偏差に応じた入力成分と、前記ヒータ温度データが表すヒータの温度に応じた入力成分とを含むことを特徴とする排ガスセンサの温度制御装置。

【請求項 2】

前記排ガスセンサの温度を表す排ガス温度データを逐次取得する手段を備え、前記ヒータ制御手段が生成する制御入力は、該排ガス温度データが表す排ガスの温度に応じた入力成分を含むことを特徴とする請求項 1 記載の排ガスセンサの温度制御装置。

【請求項 3】

前記ヒータ制御手段が生成する制御入力は、前記目標温度に応じた入力成分を含むことを特徴とする請求項 1 又は 2 記載の排ガスセンサの温度制御装置。

【請求項 4】

前記ヒータ制御手段が生成する制御入力は、前記素子温度データが表す素子部の温度に応じた入力成分を含むことを特徴とする請求項 1 ～ 3 のいずれか 1 項に記載の排ガスセンサの温度制御装置。

【請求項 5】

内燃機関の排気通路に配置され、該排気通路を流れる排ガスに接触する素子部

と該素子部を加熱するヒータとを有する排ガスセンサの温度制御装置であって、

前記素子部の温度を表す素子温度データを逐次取得する手段と、前記排ガスセンサの温度を表す排ガス温度データを逐次取得する手段と、前記素子温度データが表す素子部の温度が所定の目標温度になるように前記ヒータへの発熱用エネルギーの供給量を規定する制御入力を逐次生成し、その制御入力に応じてヒータを制御するヒータ制御手段とを備え、該ヒータ制御手段が生成する制御入力は、少なくとも前記素子温度データが表す素子部の温度と前記目標温度との偏差に応じた入力成分と、前記排ガス温度データが表す排ガスの温度に応じた入力成分とを含むことを特徴とする排ガスセンサの温度制御装置。

【請求項 6】

前記ヒータ制御手段が生成する制御入力は、前記目標温度に応じた入力成分を含むことを特徴とする請求項 5 記載の排ガスセンサの温度制御装置。

【請求項 7】

前記ヒータ制御手段が生成する制御入力は、前記素子温度データが表す素子部の温度に応じた入力成分を含むことを特徴とする請求項 5 又は 6 記載の排ガスセンサの温度制御装置。

【請求項 8】

内燃機関の排気通路に配置され、該排気通路を流れる排ガスに接触する素子部と該素子部を加熱するヒータとを有する排ガスセンサの温度制御装置であって、

前記素子部の温度を表す素子温度データを逐次取得する手段と、前記素子温度データが表す素子部の温度が所定の目標温度になるように前記ヒータへの発熱用エネルギーの供給量を規定する制御入力を逐次生成し、その制御入力に応じてヒータを制御するヒータ制御手段とを備え、該ヒータ制御手段が生成する制御入力は、少なくとも前記素子温度データが表す素子部の温度と前記目標温度との偏差に応じた入力成分と、該目標温度に応じた入力成分とを含むことを特徴とする排ガスセンサの温度制御装置。

【請求項 9】

前記ヒータ制御手段が生成する制御入力は、前記素子温度データが表す素子部の温度に応じた入力成分を含むことを特徴とする請求項 8 記載の排ガスセンサの

温度制御装置。

【請求項 1 0】

内燃機関の排気通路に配置され、該排気通路を流れる排ガスに接触する素子部と該素子部を加熱するヒータとを有する排ガスセンサの温度制御装置であって、

前記素子部の温度を表す素子温度データを逐次取得する手段と、前記素子温度データが表す素子部の温度が所定の目標温度になるように前記ヒータへの発熱用エネルギーの供給量を規定する制御入力を逐次生成し、その制御入力に応じてヒータを制御するヒータ制御手段とを備え、該ヒータ制御手段が生成する制御入力は、少なくとも前記素子温度データが表す素子部の温度と前記目標温度との偏差に応じた入力成分と、該素子部の温度に応じた入力成分とを含むことを特徴とする排ガスセンサの温度制御装置。

【請求項 1 1】

前記ヒータ制御手段が逐次生成する制御入力における前記排ガスの温度に応じた入力成分は、該排ガスの温度の現在値と第 1 所定時間後の該排ガスの温度の未来値とを含む該排ガスの温度の時系列データに応じた入力成分であり、その入力成分を含む前記制御入力を予見制御のアルゴリズムにより前記ヒータ制御手段が生成することを特徴とする請求項 2 及び 5 ～ 7 のいずれか 1 項に記載の排ガスセンサの温度制御装置。

【請求項 1 2】

前記ヒータ制御手段は、前記排ガスの温度の第 1 所定時間後までの未来値が、該排ガスの温度の現在値と同一であるとして前記制御入力を生成することを特徴とする請求項 1 1 記載の排ガスセンサの温度制御装置。

【請求項 1 3】

前記ヒータ制御手段が逐次生成する前記目標温度に応じた入力成分は、該目標温度の現在値と第 2 所定時間後における該目標温度の未来値とを含む該目標温度の時系列データに応じた入力成分であり、その入力成分を含む前記制御入力を予見制御アルゴリズムにより前記ヒータ制御手段が生成することを特徴とする請求項 3、6、8、9 のいずれか 1 項に記載の排ガスセンサの温度制御装置。

【請求項 1 4】

内燃機関の排気通路に配置され、該排気通路を流れる排ガスに接触する素子部と該素子部を加熱するヒータとを有する排ガスセンサの温度制御装置であって、

前記素子部の温度を表す素子温度データを逐次取得する手段と、前記ヒータの温度を表すヒータ温度データを逐次取得する手段と、前記ヒータ温度データが表すヒータの温度が所定の目標温度になるように該ヒータへの発熱用エネルギーの供給量を規定する制御入力を逐次生成し、その制御入力に応じてヒータを制御するヒータ制御手段とを備え、該ヒータ制御手段が生成する制御入力は、少なくとも前記ヒータ温度データが表すヒータの温度と前記目標温度との偏差に応じた入力成分と、前記素子温度データが表す素子部の温度に応じた入力成分とを含むことを特徴とする排ガスセンサの温度制御装置。

【請求項 1 5】

前記排ガスセンサの温度を表す排ガス温度データを逐次取得する手段を備え、前記ヒータ制御手段が生成する制御入力は、該排ガス温度データが表す排ガスの温度に応じた入力成分を含むことを特徴とする請求項 1 4 記載の排ガスセンサの温度制御装置。

【請求項 1 6】

前記ヒータ制御手段が生成する制御入力は、前記目標温度に応じた入力成分を含むことを特徴とする請求項 1 4 又は 1 5 記載の排ガスセンサの温度制御装置。

【請求項 1 7】

前記ヒータ制御手段が生成する制御入力は、前記ヒータ温度データが表すヒータの温度に応じた入力成分を含むことを特徴とする請求項 1 4 ～ 1 6 のいずれか 1 項に記載の排ガスセンサの温度制御装置。

【請求項 1 8】

内燃機関の排気通路に配置され、該排気通路を流れる排ガスに接触する素子部と該素子部を加熱するヒータとを有する排ガスセンサの温度制御装置であって、

前記ヒータの温度を表すヒータ温度データを逐次取得する手段と、前記排ガスセンサの温度を表す排ガス温度データを逐次取得する手段と、前記ヒータ温度データが表すヒータの温度が所定の目標温度になるように該ヒータへの発熱用エネルギーの供給量を規定する制御入力を逐次生成し、その制御入力に応じてヒータ

を制御するヒータ制御手段とを備え、該ヒータ制御手段が生成する制御入力は、少なくとも前記ヒータ温度データが表すヒータの温度と前記目標温度との偏差に応じた入力成分と、前記排ガス温度データが表す排ガスの温度に応じた入力成分とを含むことを特徴とする排ガスセンサの温度制御装置。

【請求項 1 9】

前記ヒータ制御手段が生成する制御入力、前記目標温度に応じた入力成分を含むことを特徴とする請求項 1 8 記載の排ガスセンサの温度制御装置。

【請求項 2 0】

前記ヒータ制御手段が生成する制御入力、前記ヒータ温度データが表すヒータの温度に応じた入力成分を含むことを特徴とする請求項 2 0 又は 2 1 記載の排ガスセンサの温度制御装置。

【請求項 2 1】

内燃機関の排気通路に配置され、該排気通路を流れる排ガスに接触する素子部と該素子部を加熱するヒータとを有する排ガスセンサの温度制御装置であって、

前記ヒータの温度を表すヒータ温度データを逐次取得する手段と、前記ヒータ温度データが表すヒータの温度が所定の目標温度になるように前記ヒータへの発熱用エネルギーの供給量を規定する制御入力を逐次生成し、その制御入力に応じてヒータを制御するヒータ制御手段とを備え、該ヒータ制御手段が生成する制御入力は、少なくとも前記ヒータ温度データが表すヒータの温度と前記目標温度との偏差に応じた入力成分と、該目標温度に応じた入力成分とを含むことを特徴とする排ガスセンサの温度制御装置。

【請求項 2 2】

前記ヒータ制御手段が生成する制御入力は、前記ヒータ温度データが表すヒータの温度に応じた入力成分を含むことを特徴とする請求項 2 1 記載の排ガスセンサの温度制御装置。

【請求項 2 3】

内燃機関の排気通路に配置され、該排気通路を流れる排ガスに接触する素子部と該素子部を加熱するヒータとを有する排ガスセンサの温度制御装置であって、

前記ヒータの温度を表すヒータ温度データを逐次取得する手段と、前記ヒータ

温度データが表すヒータの温度が所定の目標温度になるように前記ヒータへの発熱用エネルギーの供給量を規定する制御入力を逐次生成し、その制御入力に応じてヒータを制御するヒータ制御手段とを備え、該ヒータ制御手段が生成する制御入力は、少なくとも前記ヒータ温度データが表すヒータの温度と前記目標温度との偏差に応じた入力成分と、該ヒータの温度に応じた入力成分とを含むことを特徴とする排ガスセンサの温度制御装置。

【請求項 2 4】

前記ヒータ制御手段が逐次生成する制御入力における前記排ガスの温度に応じた入力成分は、該排ガスの温度の現在値と第 1 所定時間後の該排ガスの温度の未来値とを含む該排ガスの温度の時系列データに応じた入力成分であり、その入力成分を含む前記制御入力を予見制御のアルゴリズムにより前記ヒータ制御手段が生成することを特徴とする請求項 1 5 及び 1 8 ～ 2 0 のいずれか 1 項に記載の排ガスセンサの温度制御装置。

【請求項 2 5】

前記ヒータ制御手段は、前記排ガスの温度の第 1 所定時間後までの未来値が、該排ガスの温度の現在値と同一であるとして前記制御入力を生成することを特徴とする請求項 2 4 記載の排ガスセンサの温度制御装置。

【請求項 2 6】

前記ヒータ制御手段が逐次生成する前記目標温度に応じた入力成分は、該目標温度の現在値と第 2 所定時間後における該目標温度の未来値とを含む該目標温度の時系列データに応じた入力成分であり、その入力成分を含む前記制御入力を予見制御アルゴリズムにより前記ヒータ制御手段が生成することを特徴とする請求項 1 6、1 9、2 1、2 2 のいずれか 1 項に記載の排ガスセンサの温度制御装置。

【請求項 2 7】

前記ヒータ制御手段は、最適制御のアルゴリズムにより前記制御入力を生成することを特徴とする請求項 1 ～ 2 6 のいずれか 1 項に記載の排ガスセンサの温度制御装置。

【請求項 2 8】

前記内燃機関の始動後、第3所定時間が経過するまでの始動直後期間における前記目標温度は、該始動直後期間の経過後における目標温度よりも低い温度に設定されることを特徴とする請求項1～27のいずれか1項に記載の排ガスセンサの温度制御装置。

【請求項29】

前記ヒータは、パルス幅制御（PWM制御）によってバッテリーから通電することにより発熱する電熱ヒータであると共に、前記ヒータ制御手段が生成する制御入力は、前記パルス幅制御におけるデューティであり、該デューティを前記バッテリーの電圧に応じて補正する手段を備えたことを特徴とする請求項1～28のいずれか1項に記載の排ガスセンサの温度制御装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、内燃機関の排気通路に備えた排ガスセンサの温度制御装置に関する。

【0002】

【従来の技術】

内燃機関の排気通路には、内燃機関の運転制御や排ガス浄化システムの状態監視等を目的として、排ガスの成分濃度等、排ガスの成分状態に関する物理量を検出する排ガスセンサが備えられることが多々ある。該排ガスセンサは、検出しようとする排ガスの成分状態に感応する素子部が排気通路を流れる排ガスに接触するようにして該排気通路の所要の箇所に配置される。例えば排気通路に備えた排ガス浄化用の触媒の浄化性能を良好に保つように内燃機関の空燃比を制御することを目的として、 O_2 センサ等の空燃比センサが触媒の上流側や下流側に配置される。また、この種の排ガスセンサは、その素子部の本来の機能を発揮させるための昇温・活性化や、素子部に付着した異物の除去等を目的として該素子部を加熱するためのヒータを内蔵したものもある。例えば、前記 O_2 センサ等の空燃比センサには、通常、その素子部を加熱する電熱ヒータが備えられ、内燃機関の運転開始後、該電熱ヒータにより O_2 センサの素子部を昇温して活性化し、その

活性状態に維持することが行われている。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】

ところで、前記 O_2 センサは、後に説明する図3に示すように、その素子部が感応する排ガスの酸素濃度が表す排ガスの空燃比の極めて狭い範囲 Δ （理論空燃比近傍の範囲）においてのみ、該空燃比の変化に対して出力電圧 V_{out} が大きな傾きで変化する（空燃比の変化に対する感度が高感度なものとなる）。そして、その高感度な範囲 Δ よりもリッチ側の空燃比域とリーン側の空燃比域とでは、 O_2 センサの出力電圧 V_{out} の変化（空燃比に対する傾き）は微小なものとなる。また、 O_2 センサの出力特性（上記の高感度な部分の傾き等）は、素子部の温度の影響を受けて変化する。従って、このような O_2 センサの出力を用いて空燃比制御を行うような場合には、 O_2 センサの出力特性をできるだけ所要の特性に安定して維持し、ひいては空燃比制御を良好に行うために、 O_2 センサの素子部の温度をできるだけ安定に所望の温度に維持することが望まれる。

【0004】

また、 O_2 センサに限らず、多くの排ガスセンサは、その出力特性が素子部の温度の影響を受けるため、該排ガスセンサの出力を用いて内燃機関等の制御を行う場合、その制御を良好に行うために、該排ガスセンサの素子部の温度を所望の温度にできるだけ安定に維持することが好ましい。さらに、排ガスセンサの素子部のクリーニングを行うために該素子部をヒータで加熱するような場合であっても、そのクリーニングを良好に行うためには、該排ガスセンサの素子部の温度を所望の温度に維持することが好ましい。

【0005】

一方、例えば特開2000-304721号公報に本願出願人が開示したように、排ガスセンサ（同公報のものでは空燃比センサ）の素子部の温度を推定し、その推定した素子部の温度に応じてヒータ（電熱ヒータ）の通電制御を行うことで、素子部の温度が所望の温度になるようにして、該排ガスセンサの好適な出力特性が得られるようにしたものが知られている。尚、同公報のものでは、ヒータの通電電流及び印加電圧を検出してそれらの検出値からヒータの抵抗値を把握すると共に、

該ヒータの抵抗値に基づいて排ガスセンサの素子部の温度を推定するようにしている。

【0006】

しかしながら、前記公報のものでは、排ガスセンサの素子部の温度の推定値から、データテーブルによりヒータへの供給電力を規定するデューティを一義的に決定するようにしているものに過ぎないため、排ガスの温度変化、外気温等の影響によって、排ガスセンサの素子部の温度を所望の温度に安定して制御することが困難であった。また、排ガスセンサの素子部の温度が低い状態では、ヒータのデューティを一定の最大値に維持するため、必用以上にヒータが電力を消耗したり、ヒータや素子部の実際の温度が過熱状態となって、それらの損傷を生じる虞れがあった。

【0007】

本発明はかかる背景に鑑みてなされたものであり、排ガスセンサの素子部の温度を安定して所望の温度に制御することができる排ガスセンサの温度制御装置を提供することを目的とする。

【0008】

【課題を解決するための手段】

本発明は、内燃機関の排気通路に配置され、該排気通路を流れる排ガスに接触する素子部と該素子部を加熱するヒータとを有する排ガスセンサの温度制御装置に関するものである。そして、本発明の第1の態様は、前記素子部の温度を表す素子温度データを逐次取得する手段と、前記ヒータの温度を表すヒータ温度データを逐次取得する手段と、前記素子温度データが表す素子部の温度が所定の目標温度になるように前記ヒータへの発熱用エネルギーの供給量を規定する制御入力を逐次生成し、その制御入力に応じてヒータを制御するヒータ制御手段とを備え、該ヒータ制御手段が生成する制御入力は、少なくとも前記素子温度データが表す素子部の温度と前記目標温度との偏差に応じた入力成分と、前記ヒータ温度データが表すヒータの温度に応じた入力成分とを含むことを特徴とするものである。

【0009】

かかる本発明の第1の態様によれば、前記ヒータ制御手段は、前記素子温度データが表す素子部の温度と前記目標温度との偏差に応じた入力成分と、前記ヒータ温度データが表すヒータの温度に応じた入力成分とを含む制御入力（制御対象の操作量）に応じてヒータを制御するので、素子部の温度が目標温度に対して変動したときに、ヒータへの発熱用エネルギーの供給量を規定する制御入力の過大な変動を抑えながら、素子部の温度を目標温度に収束させることが可能となる。その結果、排ガスセンサの素子部の温度を安定に目標温度に制御することができる。

【0010】

尚、本発明の第1の態様では、素子部の温度を表す素子温度データは、温度センサを用いて直接的に検出して取得するようにしてもよく、あるいは、適宜のパラメータやモデルに基づいて推定して取得するようにしてもよい。このことは、ヒータの温度を表すヒータ温度データについても同様である。

【0011】

また、前記制御入力における素子部の温度と目標温度との偏差に応じた入力成分は、例えば該偏差に比例した成分、該偏差の所定時間毎の累積加算値（積分値）に比例した成分、あるいはこれらの成分を加え合わせたもの等である。このことは、後述する本発明の第2の態様、第3の態様、第4の態様でも同様である。

【0012】

また、本発明の第2の態様は、前記素子部の温度を表す素子温度データを逐次取得する手段と、前記排ガスセンサの温度を表す排ガス温度データを逐次取得する手段と、前記素子温度データが表す素子部の温度が所定の目標温度になるように前記ヒータへの発熱用エネルギーの供給量を規定する制御入力を逐次生成し、その制御入力に応じてヒータを制御するヒータ制御手段とを備え、該ヒータ制御手段が生成する制御入力は、少なくとも前記素子温度データが表す素子部の温度と前記目標温度との偏差に応じた入力成分と、前記排ガス温度データが表す排ガスの温度に応じた入力成分とを含むことを特徴とするものである。

【0013】

かかる本発明の第2の態様によれば、前記ヒータ制御手段は、素子温度データ

が表す素子部の温度と前記目標温度との偏差に応じた入力成分と、前記排ガス温度データが表す排ガスの温度に応じた入力成分とを含む制御入力に応じてヒータを制御するので、素子部の温度に対する排ガスの温度の変動の影響を補償しつつ、素子部の温度を目標温度に収束させることが可能となる。換言すれば、排ガスの温度の変動による素子部の温度の変動を抑えつつ素子部の温度を目標温度に制御することが可能となる。その結果、排ガスセンサの素子部の温度を安定に目標温度（所望の温度）に制御することができる。

【0014】

尚、本発明の第2の態様では、素子部の温度を表す素子温度データは、前記第1の態様と同様、温度センサを用いて直接的に検出して取得するようにしてもよく、あるいは、適宜のパラメータやモデルに基づいて推定して取得するようにしてもよい。このことは、排ガスの温度を表す排ガス温度データについても同様である。

【0015】

また、本発明の第3の態様は、前記素子部の温度を表す素子温度データを逐次取得する手段と、前記素子温度データが表す素子部の温度が所定の目標温度になるように前記ヒータへの発熱用エネルギーの供給量を規定する制御入力を逐次生成し、その制御入力に応じてヒータを制御するヒータ制御手段とを備え、該ヒータ制御手段が生成する制御入力は、少なくとも前記素子温度データが表す素子部の温度と前記目標温度との偏差に応じた入力成分と、該目標温度に応じた入力成分とを含むことを特徴とするものである。

【0016】

かかる本発明の第3の態様によれば、前記ヒータ制御手段は、素子温度データが表す素子部の温度と前記目標温度との偏差に応じた入力成分と、該目標温度に応じた入力成分とを含む制御入力に応じてヒータを制御するので、素子部の温度の目標温度への追従を速やかに行うことができる。その結果、排ガスセンサの素子部の温度を安定に目標温度に制御することができる。

【0017】

尚、本発明の第3の態様では、素子部の温度を表す素子温度データは、第1の

態様と同様、温度センサを用いて直接的に検出して取得するようにしてもよく、あるいは、適宜のパラメータやモデルに基づいて推定して取得するようにしてもよい。

【0018】

また、本発明の第4の態様は、前記素子部の温度を表す素子温度データを逐次取得する手段と、前記素子温度データが表す素子部の温度が所定の目標温度になるように前記ヒータへの発熱用エネルギーの供給量を規定する制御入力を逐次生成し、その制御入力に応じてヒータを制御するヒータ制御手段とを備え、該ヒータ制御手段が生成する制御入力は、少なくとも前記素子温度データが表す素子部の温度と前記目標温度との偏差に応じた入力成分と、該素子部の温度に応じた入力成分とを含むことを特徴とするものである。

【0019】

かかる本発明の第4の態様によれば、前記ヒータ制御手段は、素子温度データが表す素子部の温度と前記目標温度との偏差に応じた入力成分に加えて、該素子部の目標温度に応じた入力成分を含む制御入力に応じてヒータを制御するので、素子部の温度が目標温度に対してオーバシュートを生じるの低減し、素子部の温度を目標温度に滑らかに追従させることができる。その結果、排ガスセンサの素子部の温度を安定に目標温度に制御することができる。

【0020】

ところで、前述の第1～第4の態様の発明は、素子部の温度を直接的に目標温度に制御するものであるが、一般に、ヒータの温度と素子部の温度とはそれらの温度がほぼ一定となるような定常状態では高い相関性を有する。従って、ヒータの温度をある目標温度に制御するようにすれば、素子部の温度は、間接的にヒータの目標温度に対応した温度に制御できることとなる。

【0021】

そこで、本発明の第5の態様は、前記素子部の温度を表す素子温度データを逐次取得する手段と、前記ヒータの温度を表すヒータ温度データを逐次取得する手段と、前記ヒータ温度データが表すヒータの温度が所定の目標温度になるように該ヒータへの発熱用エネルギーの供給量を規定する制御入力を逐次生成し、その

制御入力に応じてヒータを制御するヒータ制御手段とを備え、該ヒータ制御手段が生成する制御入力は、少なくとも前記ヒータ温度データが表すヒータの温度と前記目標温度との偏差に応じた入力成分と、前記素子温度データが表す素子部の温度に応じた入力成分とを含むことを特徴とするものである。

【 0 0 2 2 】

かかる本発明の第 5 の態様は、前記第 1 の態様に対応するものであり、ヒータの温度を目標温度に制御することに関して、該第 1 の態様と類似の効果を奏することができる。すなわち、本発明の第 5 の態様によれば、前記ヒータ制御手段は、前記ヒータ温度データが表すヒータの温度と前記目標温度（ヒータの温度の目標値）との偏差に応じた入力成分と、前記素子温度データが表す素子部の温度に応じた入力成分とを含む制御入力（制御対象の操作量）に応じてヒータを制御するので、ヒータの温度が目標温度に対して変動したときに、制御入力の過大な変動を抑えながら、ヒータの温度を目標温度に収束させることが可能となる。その結果、排ガスセンサのヒータの温度を安定に目標温度に制御することができ、ひいては、素子部の温度を該ヒータの目標温度に対応した温度に安定に制御することができる。

【 0 0 2 3 】

尚、本発明の第 5 の態様で、素子部の温度を表す素子温度データや、ヒータの温度を表すヒータ温度データは、前記第 1 の態様と同様、温度センサで検出・取得するようにしてもよく、あるいは、推定して取得するようにしてもよい。

【 0 0 2 4 】

また、前記制御入力におけるヒータの温度と目標温度との偏差に応じた入力成分は、例えば該偏差に比例した成分、該偏差の所定時間毎の累積加算値（積分値）に比例した成分、あるいはこれらの成分を加え合わせたもの等である。このことは、後述する本発明の第 6 の態様、第 7 の態様、第 8 の態様でも同様である。

【 0 0 2 5 】

また、本発明の第 6 の態様は、前記ヒータの温度を表すヒータ温度データを逐次取得する手段と、前記排ガスセンサの温度を表す排ガス温度データを逐次取得する手段と、前記ヒータ温度データが表すヒータの温度が所定の目標温度になる

ように該ヒータへの発熱用エネルギーの供給量を規定する制御入力を逐次生成し、その制御入力に応じてヒータを制御するヒータ制御手段とを備え、該ヒータ制御手段が生成する制御入力は、少なくとも前記ヒータ温度データが表すヒータの温度と前記目標温度との偏差に応じた入力成分と、前記排ガス温度データが表す排ガスの温度に応じた入力成分とを含むことを特徴とするものである。

【 0 0 2 6 】

かかる本発明の第 6 の態様は、前記第 2 の態様に対応するものであり、ヒータの温度を目標温度に制御することに関して、該第 2 の態様と類似の効果を奏することができる。すなわち、本発明の第 6 の態様によれば、前記ヒータ制御手段は、ヒータ温度データが表すヒータの温度と前記目標温度との偏差に応じた入力成分と、前記排ガス温度データが表す排ガスの温度に応じた入力成分とを含む制御入力に応じてヒータを制御するので、素子部の温度、ひいてはヒータの温度に対する排ガスの温度の変動の影響を補償しつつ、ヒータの温度を目標温度に収束させることが可能となる。換言すれば、排ガスの温度の変動によるヒータの温度の変動を抑えつつヒータの温度を目標温度に制御することが可能となる。その結果、排ガスセンサのヒータの温度を安定に目標温度に制御することができ、ひいては、排ガスセンサの素子部の温度をヒータの目標温度に対応した温度に安定に制御することができる。

【 0 0 2 7 】

尚、本発明の第 6 の態様で、ヒータの温度を表すヒータ温度データや、排ガスの温度を表す排ガス温度データは、前記第 2 の態様と同様、温度センサで検出・取得するようにしてもよく、あるいは、推定して取得するようにしてもよい。

【 0 0 2 8 】

また、本発明の第 7 の態様は、前記ヒータの温度を表すヒータ温度データを逐次取得する手段と、前記ヒータ温度データが表すヒータの温度が所定の目標温度になるように前記ヒータへの発熱用エネルギーの供給量を規定する制御入力を逐次生成し、その制御入力に応じてヒータを制御するヒータ制御手段とを備え、該ヒータ制御手段が生成する制御入力は、少なくとも前記ヒータ温度データが表すヒータの温度と前記目標温度との偏差に応じた入力成分と、該目標温度に応じた

入力成分とを含むことを特徴とするものである。

【0029】

かかる本発明の第7の態様は、前記第3の態様に対応するものであり、ヒータの温度を目標温度に制御することに関して、該第3の態様と類似の効果を奏することができる。すなわち、本発明の第7の態様によれば、前記ヒータ制御手段は、ヒータ温度データが表すヒータの温度と前記目標温度との偏差に応じた入力成分と、該目標温度に応じた入力成分とを含む制御入力に応じてヒータを制御するので、ヒータの温度の目標温度への追従を速やかに行うことができる。その結果、排ガスセンサのヒータの温度を安定に目標温度に制御することができ、ひいては、素子部の温度をヒータの目標温度に対応した温度に安定に制御することができる。

【0030】

尚、本発明の第7の態様で、ヒータの温度を表すヒータ温度データは、第3の態様と同様、温度センサで検出・取得するようにしてもよく、あるいは、推定して取得するようにしてもよい。

【0031】

また、本発明の第8の態様は、前記ヒータの温度を表すヒータ温度データを逐次取得する手段と、前記ヒータ温度データが表すヒータの温度が所定の目標温度になるように前記ヒータへの発熱用エネルギーの供給量を規定する制御入力を逐次生成し、その制御入力に応じてヒータを制御するヒータ制御手段とを備え、該ヒータ制御手段が生成する制御入力は、少なくとも前記ヒータ温度データが表すヒータの温度と前記目標温度との偏差に応じた入力成分と、該ヒータの温度に応じた入力成分とを含むことを特徴とするものである。

【0032】

かかる本発明の第8の態様は、前記第4の態様に対応するものであり、ヒータの温度を目標温度に制御することに関して、該第4の態様と類似の効果を奏することができる。すなわち、本発明の第8の態様によれば、前記ヒータ制御手段は、ヒータ温度データが表すヒータの温度と前記目標温度との偏差に応じた入力成分と、該ヒータの温度に応じた入力成分とを含む制御入力に応じてヒータを制御

するので、ヒータの温度が目標温度に対してオーバシュートを生じるの低減し、ヒータの温度を目標温度に滑らかに追従させることができる。その結果、排ガスセンサのヒータの温度を安定に目標温度に制御することができ、ひいては、素子部の温度をヒータの目標温度に対応した温度に安定に制御することができる。

【 0 0 3 3 】

前述した本発明の第 1 ～ 第 4 の態様は、それらの二つ以上の態様を複合させることが好ましい。第 1 の態様と第 2 の態様とを複合させる場合には、前記第 1 の態様において、前記排ガスセンサの温度を表す排ガス温度データを逐次取得する手段を備え、前記ヒータ制御手段が生成する制御入力、該排ガス温度データが表す排ガスの温度に応じた入力成分を含む。このように第 1 の態様と第 2 の態様とを複合させることにより、それらの態様による効果が重畳されて、素子部の温度をより安定に目標温度に制御することができる。

【 0 0 3 4 】

さらに、前記第 1 の態様、あるいは、これに第 2 の態様を複合させたものにおいて、前記ヒータ制御手段が生成する制御入力に、前記目標温度に応じた入力成分を含めることにより、第 1 の態様と第 3 の態様とを複合させた発明、あるいは、第 1 ～ 第 3 の態様を複合させた発明を構成できる。第 1 の態様と第 3 の態様とを複合させた場合には、それらの効果が重畳されて、素子部の温度をより安定に目標温度に制御することができる。特に、第 1 ～ 第 3 の態様を複合させた場合には、第 1 ～ 第 3 の各態様の効果が重畳されて、素子部の温度の目標温度に対する安定性を好適に高めることができる。

【 0 0 3 5 】

さらに、前記第 1 の態様、あるいは、これに第 2 及び第 3 の態様のうちの一つ以上の態様を複合させたものにおいて、前記ヒータ制御手段が生成する制御入力に、前記素子温度データが表す素子部の温度に応じた入力成分を含めることにより、第 1 の態様と第 4 の態様とを複合させた発明、あるいは、さらに第 2 及び第 3 の態様のうちの一つ以上の態様を複合させた発明を構成できる。それらの態様の複合により、それらの各態様の効果が重畳されて、素子部の温度の目標温度に対する安定性を高めることができる。

【 0 0 3 6 】

また、前記第 2 の態様において、前記ヒータ制御手段が生成する制御入力に、前記目標温度に応じた入力成分を含めることにより、本発明の第 2 の態様と第 3 の態様とを複合させた発明を構成できる。このようにすることにより、第 2 の態様と第 3 の態様の効果が重畳されて、素子部の温度をより安定に目標温度に制御することができる。さらに、前記第 2 の態様、あるいは、これに第 3 の態様を複合させたものにおいて、前記ヒータ制御手段が生成する制御入力に、前記素子温度データが表す素子部の温度に応じた入力成分を含めることにより、第 2 の態様と第 4 の態様とを複合させた発明、あるいは、第 2 ～第 4 の態様を複合させた発明を構成できる。そして、それらの態様の複合により、それらの各態様の効果が重畳されて、素子部の温度の目標温度に対する安定性を高めることができる。

【 0 0 3 7 】

さらに、前記第 3 の態様において、前記ヒータ制御手段が生成する制御入力に、前記素子温度データが表す素子部の温度に応じた入力成分を含めることにより、第 3 の態様と第 4 の態様とを複合させた発明を構成できる。そして、この複合により第 3 及び第 4 の態様の効果が重畳されて、素子部の温度の目標温度に対する安定性を高めることができる。

【 0 0 3 8 】

上述した第 1 ～第 4 の態様の発明の複合に関しては、前記第 5 ～第 8 の態様の発明についても同様であり、それらの二つ以上の態様を複合させることが好ましい。すなわち、第 5 の態様と第 6 の態様を複合させる場合には、前記第 5 の態様において、前記排ガスセンサの温度を表す排ガス温度データを逐次取得する手段を備え、前記ヒータ制御手段が生成する制御入力は、該排ガス温度データが表す排ガスの温度に応じた入力成分を含む。このように第 5 の態様と第 6 の態様とを複合させることにより、それらの態様による効果が重畳されて、ヒータの温度をより安定に目標温度に制御することができ、ひいては、素子部の温度をヒータの目標温度に対応した温度により安定に制御することができる。

【 0 0 3 9 】

さらに、前記第 5 の態様、あるいは、これに第 6 の態様を複合させたものにお

いて、前記ヒータ制御手段が生成する制御入力に、前記目標温度（ヒータの温度の目標値）に応じた入力成分を含めることにより、第5の態様と第7の態様とを複合させた発明、あるいは、第5～第7の態様を複合させた発明を構成できる。第5の態様と第7の態様とを複合させた場合には、それらの効果が重畳されて、ヒータの温度をより安定に目標温度に制御することができ、ひいては、素子部の温度をヒータの目標温度に対応した温度により安定に制御できる。特に、第5～第7の態様を複合させた場合には、第5～第7の各態様の効果が重畳されて、ヒータの温度、ひいては、素子部の温度の安定性を好適に高めることができる。

【0040】

さらに、前記第5の態様、あるいは、これに第6及び第7の態様のうちの一つ以上の態様を複合させたものにおいて、前記ヒータ制御手段が生成する制御入力に、前記ヒータ温度データが表すヒータの温度に応じた入力成分を含めることにより、第5の態様と第8の態様とを複合させた発明、あるいは、さらに第6及び第7の態様のうちの一つ以上の態様を複合させた発明を構成できる。それらの態様の複合により、それらの各態様の効果が重畳されて、ヒータの温度の目標温度に対する安定性を高めることができる。ひいては、素子部の温度をヒータの目標温度に対応した温度により安定に制御できる。

【0041】

また、前記第6の態様において、前記ヒータ制御手段が生成する制御入力は、前記目標温度（ヒータの温度の目標値）に応じた入力成分を含むようにすることにより、本発明の第6の態様と第7の態様とを複合させた発明を構成できる。このようにすることにより、第6の態様と第7の態様の効果が重畳されて、ヒータの温度をより安定に目標温度に制御することができ、ひいては、素子部の温度をヒータの目標温度に対応した温度により安定に制御することができる。さらに、第6の態様、あるいは、これに第7の態様を複合させたものにおいて、前記ヒータ制御手段が生成する制御入力に、前記ヒータ温度データが表すヒータの温度に応じた入力成分を含めることにより、第6の態様と第8の態様とを複合させた発明、あるいは、第6～第8の態様を複合させた発明を構成できる。そして、それらの複合により、それらの各態様の効果が重畳されて、ヒータの温度の目標温度

に対する安定性を高めることができる。ひいては素子部の温度を、ヒータの目標温度に対応する温度に安定に制御することができる。

【 0 0 4 2 】

さらに、前記第 7 の態様において、前記ヒータ制御手段が生成する制御入力に、前記ヒータ温度データが表すヒータの温度に応じた入力成分を含めることにより、第 7 の態様と第 8 の態様とを複合させた発明を構成できる。そして、この複合により第 7 及び第 8 の態様の効果が重畳されて、ヒータの温度の目標温度に対する安定性を高めることができ、ひいては、素子部の温度を、ヒータの目標温度に対応する温度に安定に制御することができる。

【 0 0 4 3 】

前記制御入力の入力成分として排ガスの温度に応じた入力成分を含む第 2 の態様の発明、あるいは第 1、第 3 及び第 4 の態様のうちの一つ以上の態様と第 2 の態様とを複合させた発明では、前記ヒータ制御手段が逐次生成する制御入力における前記排ガスの温度に応じた入力成分は、該排ガスの温度の現在値と第 1 所定時間後の該排ガスの温度の未来値とを含む該排ガスの温度の時系列データに応じた入力成分であり、その入力成分を含む前記制御入力を予見制御のアルゴリズムにより前記ヒータ制御手段が生成することが好ましい。このことは、前記第 6 の態様の発明、あるいは第 5、第 7 及び第 8 の態様のうちの一つ以上の態様と第 6 の態様とを複合させた発明でも同じである。

【 0 0 4 4 】

これによれば、前記制御入力に含まれる入力成分のうち、排ガスの温度に応じた入力成分は、排ガスの温度の現在値だけでなく、少なくとも第 1 所定時間後の分の未来値を含む排ガスの温度の時系列データに応じた入力成分である。このため、前記第 2 の態様の発明もしくはこれを含む発明では、排ガスの温度の変化に対する素子部の温度の変化を最小限に留めることができる。従って、排ガスの温度の変動によらずに、素子部の温度の目標温度への制御の安定性を効果的に高めることができる。同様に、第 6 の態様の発明もしくはこれを含む発明では、排ガスの温度の変化に対するヒータの温度の変化を最小限に留めることができる。従って、排ガスの温度の変動によらずに、ヒータの温度の目標温度への制御の安定

性を効果的に高めることができ、ひいては、素子部の温度をより安定にヒータの目標温度に対応した温度に制御できる。尚、上記時系列データには、排ガスの温度の現在値と第 1 所定時間後の未来値だけでなく、現在から第 1 所定時間後の時点までの間の排ガスの温度の未来値が複数含まれていてもよい。

【 0 0 4 5 】

上記のように排ガスの温度の未来値を考慮した予見制御のアルゴリズムにより制御入力を生成する場合、その生成に必用な排ガスの温度の未来値は、例えば適宜のアルゴリズムにより推測して得るようにしてもよいが、該排ガスの温度の変化は、一般に、さほど急激には生じない。そこで、前記ヒータ制御手段は、前記排ガスの温度の第 1 所定時間後までの未来値が、該排ガスの温度の現在値と同一であるとして前記制御入力を生成するようにしてもよい。このようにすることにより、排ガスの温度の現在値を逐次把握できれば良いので、排ガスの温度の把握（排ガスの温度を表すデータの取得）を含めた排ガスセンサの温度制御のアルゴリズムの構築が容易になる。

【 0 0 4 6 】

また、前記制御入力の入力成分として素子部の目標温度に応じた入力成分を含む第 3 の態様の発明、あるいは第 1、第 2 及び第 4 の態様のうちの一つ以上の態様と第 3 の態様とを複合させた発明では、前記ヒータ制御手段が逐次生成する前記目標温度に応じた入力成分は、該目標温度の現在値と第 2 所定時間後における該目標温度の未来値とを含む該目標温度の時系列データに応じた入力成分であり、その入力成分を含む前記制御入力を予見制御アルゴリズムにより前記ヒータ制御手段が生成することが好ましい。このことは、前記第 7 の態様の発明、あるいは第 5、第 6、第 8 の態様のうちの一つ以上の態様と第 7 の態様とを複合させた発明でも同じである。

【 0 0 4 7 】

これによれば、前記制御入力に含まれる入力成分のうち、目標温度に応じた入力成分は、目標温度の現在値だけでなく、少なくとも第 2 所定時間後の未来値を含む該目標温度の時系列データに応じた入力成分である。このため、前記第 3 の態様の発明もしくはこれを含む発明では、素子部の目標温度を変更したときに、

素子部の温度がその目標温度に対してオーバーシュートを生じるのが防止される。また、素子部の温度の目標温度への収束速度も高めることができる。その結果、素子部の温度を目標温度に迅速且つ滑らかに追従させることができ、特に、内燃機関の始動直後に、素子部の温度を目標温度に向かって速やかに収束させて、安定化させることができる。従って、内燃機関の始動直後に、速やかに素子部の出力特性を所望の特性に安定化できる。また、素子部の目標温度の変更に対する素子部の温度の追従性が良くなることから、素子部の目標温度を内燃機関の運転状態等に適した値に適宜可變的に設定することもできる。

【 0 0 4 8 】

同様に、前記第 7 の態様の発明もしくはこれを含む発明では、ヒータの目標温度を変更したときに、ヒータの温度がその目標温度に対してオーバーシュートを生じるのが防止される。また、ヒータの温度の目標温度への収束速度も高めることができる。その結果、ヒータの温度を目標温度に迅速且つ滑らかに追従させることができ、特に、内燃機関の始動直後に、ヒータの温度を目標温度に向かって速やかに収束させて、安定化させることができるひいては、素子部の温度をヒータの目標温度に対応した温度に速やかに収束させて安定化させることができる。従って、内燃機関の始動直後に、速やかに素子部の出力特性を所望の特性に安定化できる。また、ヒータの目標温度の変更に対するヒータの温度の追従性が良くなることから、ヒータの目標温度、ひいては素子部の所望の温度を内燃機関の運転状態等に適した値に適宜可變的に設定することもできる。

【 0 0 4 9 】

前述した本発明の第 1 ～第 4 の態様では、前記ヒータ制御手段は、最適制御のアルゴリズムにより前記制御入力を生成することが好適である。これによれば、前記第 1 ～第 4 の態様では、素子部の温度の目標温度への収束性と、制御入力の変動（ヒータへの発熱用エネルギーの変動）とのバランスを採りながら、該素子部の温度及び制御入力の変動を極力小さくするように制御入力を生成することが可能となる。その結果、素子部の温度を目標温度（所望の温度）に、より安定に制御することができると同時に、ヒータへの発熱用エネルギーの供給量を必要限に留めることができる。

【 0 0 5 0 】

尚、本発明の第 1 ～ 第 4 の態様で最適制御のアルゴリズムにより前記制御入力を生成するときには、例えば素子部の温度と目標温度との偏差と、該偏差の所定時間当たりの変化量（偏差の変化速度）と、ヒータの温度の所定時間当たりの変化量（ヒータの温度の変化速度）とを制御対象の状態量として持つと共に、少なくとも前記制御入力の所定時間当たりの変化量（制御入力の変化速度）を入力量として持つ制御対象モデルをあらかじめ定めておき、この制御対象モデルに基づいて前記最適制御のアルゴリズムを構築することが好ましい。あるいは、例えば素子部の温度と目標温度との偏差と、素子部の温度の所定時間当たりの変化量（素子部の温度の変化速度）と、ヒータの温度の所定時間当たりの変化量（ヒータの温度の変化速度）とを制御対象の状態量として持つと共に、少なくとも前記制御入力の所定時間当たりの変化量（制御入力の変化速度）を入力量として持つ制御対象モデルをあらかじめ定めておき、この制御対象モデルに基づいて前記最適制御のアルゴリズムを構築するようにしてもよい。いずれの場合でも、該制御対象モデルの評価関数（これは上記の各状態量の 2 乗値と、前記制御入力の所定時間当たりの変化量の 2 乗値との重み付き加算値の積分値（累積加算値）として表される）を最小化し得る制御入力ヒータ制御手段により求められることとなる。このようにすることにより、素子部の温度と目標温度との偏差を解消するだけでなく、制御対象モデルの各状態量と制御入力との変動をそれらの好適なバランスを保ちながら抑制するようにして制御入力を生成することができるので、素子部の温度の目標温度に対する安定性を高めることができる。

【 0 0 5 1 】

また、第 1 ～ 第 4 の態様における最適制御アルゴリズムの基礎となる制御対象モデルが、上記のように素子部の温度と目標温度との偏差と、該偏差の所定時間当たりの変化量と、ヒータの温度の所定時間当たりの変化量とを制御対象の状態量として持つ場合には、素子部の温度と目標温度との偏差に応じた入力成分と、ヒータの温度に応じた入力成分とを含む制御入力を生成できる。また、制御対象モデルが、素子部の温度と目標温度との偏差と、素子部の温度の所定時間当たりの変化量と、ヒータの温度の所定時間当たりの変化量とを制御対象の状態量とし

て持つ場合には、素子部の温度と目標温度との偏差に応じた入力成分と、ヒータの温度に応じた入力成分と、素子部の温度に応じた入力成分とを含む制御入力を生成できる。そして、例えばこれらの制御対象モデルの入力量として、前記制御入力の所定時間当たりの変化量に加えて、排ガスの温度の所定時間当たりの変化量や、素子部の温度の目標温度の所定時間当たりの変化量を含ませることで、排ガスの温度に応じた入力成分や、素子部の目標温度に応じた入力成分を含む制御入力を生成することが可能となる。

【 0 0 5 2 】

上記と同様に、本発明の第 5 ～ 第 8 の態様でも、前記ヒータ制御手段は、最適制御のアルゴリズムにより前記制御入力を生成することが好適である。これによれば、ヒータの温度の目標温度への収束性と、制御入力の変動とのバランスを採りながら、該ヒータの温度及び制御入力の変動を極力小さくするように制御入力を生成することが可能となる。その結果、ヒータの温度を目標温度により安定に制御することができ、ひいては素子部の温度をヒータの目標温度に対応する温度（所望の温度）により安定に制御できる。同時に、ヒータへの発熱用エネルギーの供給量を必要限に留めることができる。

【 0 0 5 3 】

尚、本発明の第 5 ～ 第 8 の態様で最適制御のアルゴリズムにより前記制御入力を生成するときには、例えばヒータの温度と目標温度との偏差と、該偏差の所定時間当たりの変化量（偏差の変化速度）と、素子部の温度の所定時間当たりの変化量（素子部の温度の変化速度）とを制御対象の状態量として持つと共に、前記制御入力の所定時間当たりの変化量（制御入力の変化速度）を入力量として持つ制御対象モデルをあらかじめ定めておき、この制御対象モデルに基づいて前記最適制御のアルゴリズムを構築することが好ましい。あるいは、例えばヒータの温度と目標温度との偏差と、素子部の温度の所定時間当たりの変化量（素子部の温度の変化速度）と、ヒータの温度の所定時間当たりの変化量（ヒータの温度の変化速度）とを制御対象の状態量として持つと共に、少なくとも前記制御入力の所定時間当たりの変化量（制御入力の変化速度）を入力量として持つ制御対象モデルをあらかじめ定めておき、この制御対象モデルに基づいて前記最適制御のアル

ゴリズムを構築するようにしてもよい。いずれの場合でも、該制御対象モデルの評価関数を最小化し得る制御入力ヒータ制御手段により求められることとなる。このようにすることにより、ヒータの温度と目標温度との偏差を解消するだけでなく、該偏差や素子部の温度、制御入力の変動をそれらの好適なバランスを保ちながら抑制するようにして制御入力を生成することができるので、ヒータの温度の目標温度に対する安定性、ひいては素子部の温度の安定性を高めることができる。

【 0 0 5 4 】

また、第5～第8の態様における最適制御アルゴリズムの基礎となる制御対象モデルが、上記のようにヒータの温度と目標温度との偏差と、該偏差の所定時間当たりの変化量と、素子部の温度の所定時間当たりの変化量とを制御対象の状態量として持つ場合には、ヒータの温度と目標温度との偏差に応じた入力成分と、素子部の温度に応じた入力成分とを含む制御入力を生成できる。また、制御対象モデルが、ヒータの温度と目標温度との偏差と、素子部の温度の所定時間当たりの変化量と、ヒータの温度の所定時間当たりの変化量とを制御対象の状態量として持つ場合には、ヒータの温度と目標温度との偏差に応じた入力成分と、ヒータの温度に応じた入力成分と、素子部の温度に応じた入力成分とを含む制御入力を生成できる。そして、例えばこれらの制御対象モデルの入力量として、前記制御入力の所定時間当たりの変化量に加えて、排ガスの温度の所定時間当たりの変化量や、ヒータの温度の目標温度の所定時間当たりの変化量を含ませることで、排ガスの温度に応じた入力成分や、ヒータの目標温度に応じた入力成分を含む制御入力を生成することが可能となる。

【 0 0 5 5 】

また、本発明の第1～第4の態様で最適制御のアルゴリズムを用いるものと、排ガスの温度あるいは目標温度に係わる予見制御アルゴリズムとを組合わせたときには、最適予見制御のアルゴリズムにより制御入力を生成することとなる。この最適予見制御のアルゴリズムにより制御入力を生成したときには、最適制御アルゴリズムの基礎となる制御対象モデルの状態量と入力量との変動をバランスよく抑えながら、高い安定性で素子部の温度を目標温度に制御することができる。

この場合における最適予見制御のアルゴリズムは、例えば第 1 ～ 第 4 の態様に関して前記に例示した制御対象モデルの入力量として、前記制御入力の前記所定時間当たりの変化量に加えて、排ガスの温度の前記所定時間当たりの変化量、及び／又は素子部の目標温度の前記所定時間当たりの変化量を含めた制御対象モデルに基づいて構築することが可能である。

【 0 0 5 6 】

このことは、本発明の第 5 ～ 第 8 の態様で最適制御のアルゴリズムを用いるものと、排ガスの温度あるいは目標温度に係わる予見制御アルゴリズムとを組合わせた場合についても同様であり、この場合の制御入力は最適予見制御のアルゴリズムにより生成されることとなる。そして、この最適予見制御のアルゴリズムにより制御入力を生成したときには、最適制御アルゴリズムの基礎となる制御対象モデルの状態量と入力量との変動をバランスよく抑えながら、高い安定性でヒータの温度を目標温度に制御することができる。この場合における最適予見制御のアルゴリズムは、例えば前記第 5 ～ 第 8 の態様に関して前記に例示した制御対象モデルの入力量として、前記制御入力の前記所定時間当たりの変化量に加えて、排ガスの温度の前記所定時間当たりの変化量、及び／又は目標温度の前記所定時間当たりの変化量を含めた制御対象モデルに基づいて構築することが可能である。

【 0 0 5 7 】

以上説明した本発明では、いずれの態様においても、前記内燃機関の始動後、第 3 所定時間が経過するまでの始動直後期間における前記目標温度（素子部又はヒータの目標温度）は、該始動直後期間の経過後における目標温度よりも低い温度に設定されることが好ましい。

【 0 0 5 8 】

すなわち、内燃機関の始動直後に、素子部あるいはヒータの目標温度が高温であると、排ガスセンサの素子部に排気通路中の水分が付着していた場合に、該素子部の急激な加熱に伴う熱応力等により該素子部が破損してしまう虞れがある。このため、本発明では、前記始動直後期間における素子部あるいはヒータの目標温度を始動直後期間の経過後よりも低い温度に設定する。これにより、排ガスセンサの素子部が熱応力等により破損してしまうような事態を回避することができ

る。

【 0 0 5 9 】

また、以上説明した本発明では、いずれの態様であっても、前記ヒータが、パルス幅制御（P W M制御）によってバッテリーから通電することにより発熱する電熱ヒータであると共に、前記ヒータ制御手段が生成する制御入力、前記パルス幅制御におけるデューティ（パルス幅制御で用いるパルス信号の1周期当たりのパルス幅の割合）である場合には、該デューティを前記バッテリーの電圧に応じて補正する手段を備えることが好ましい。すなわち、バッテリーの電圧がほぼ一定であるような場合には、上記デューティはヒータへの発熱用エネルギーの供給量としての供給電力を規定するものとなるが、バッテリーの電圧がオルタネータ等の影響で変動を生じるような場合には、ヒータへの供給電力は、上記デューティだけでなくバッテリーの電圧の影響も受ける。従って、前記制御入力としてのデューティをバッテリーの電圧に応じて補正することにより、素子部あるいはヒータの温度を目標温度に制御する上でのバッテリーの電圧の変動の影響を補償することができる。この結果、バッテリーの電圧の変動の影響を受けることなく、素子部の温度あるいはヒータの温度を目標温度に安定して制御することができる。ひいては、素子部の温度の安定性を高めることができる。

【 0 0 6 0 】

尚、本発明では、排ガスセンサとしては、例えば排ガス浄化用の触媒装置の下流側に配置した O_2 センサが挙げられる。この場合、触媒装置による所要の浄化性能を確保するために、 O_2 センサの出力電圧を所定値に維持するように排ガスの空燃比を制御するような場合には、その空燃比制御を良好に行う上で、該 O_2 センサの素子部の温度を基本的には750℃以上の温度（例えば800℃）に制御することが好適である。この場合、素子部の目標温度を決めてヒータを制御するときには、その目標温度を750℃以上の温度（例えば800℃）に設定すればよく、ヒータの目標温度を決めてヒータを制御するときには、その目標温度を例えば850℃以上の温度（例えば900℃）に設定すればよい。

【 0 0 6 1 】

さらに、内燃機関の始動直後（内燃機関の始動後、第3所定時間（例えば15

秒) が経過するまでの期間) では、前述したように O_2 センサの素子部の破損を防止するために、素子部の温度を上記の温度よりも低い温度 (例えば $600^{\circ}C$) に制御することが好適である。この場合、素子部の目標温度を決めてヒータを制御するときには、内燃機関の始動直後における素子部の目標温度を例えば $600^{\circ}C$ に設定すればよく、ヒータの目標温度を決めてヒータを制御するときには、内燃機関の始動直後におけるヒータの目標温度を例えば $700^{\circ}C$ に設定すればよい。

【0062】

【発明の実施の形態】

本発明の第1実施形態を図1～図11を参照して説明する。図1は、本実施形態の装置の全体構成を模式的に示すブロック図である。同図中、1は例えば自動車やハイブリッド車に搭載されるエンジン (内燃機関) であり、このエンジン1が燃料及び空気の混合気を燃焼させて生成する排ガスは、該エンジン1の排気ポート2に連通する排気通路3を介して大気側に排出される。排気通路3には、排ガスを浄化するための触媒装置4、5が上流側から順次介装されている。排気通路3のうち、触媒装置4の上流側の部分 (排気ポート2と触媒装置4の間の部分) と、両触媒装置4、5の間の部分と、触媒装置5の下流側の部分とはそれぞれ管状の通路形成物である排気管6a、6b、6cにより構成されている。

【0063】

各触媒装置4、5はそれぞれ触媒7 (本実施形態では三元触媒) を内蔵するものである。この触媒7は、ハニカム構造の通路形成物であり、その内部を排ガスが流れるようになっている。尚、触媒装置4、5は一体構造のもの (例えば同一のケース内に三元触媒からなる二つの触媒床を上流部と下流部とに内蔵したもの) であってもよい。

【0064】

本実施形態の装置では、特に触媒装置4の良好な浄化性能 (触媒装置4によるCO、HC、NO_xの浄化性能) を確保するようにエンジン1の排ガスの空燃比を制御する。そして、この空燃比制御を行うために、触媒装置4、5の間の排気通路3 (排気管6bにより形成される排気通路) に O_2 センサ8が配置され、触

媒装置 4 の上流側の排気通路 3（排気管 6 a により形成される排気通路）に広域空燃比センサ 9 が配置されている。尚、触媒装置 4，5 が前述のように一体構造で、二つの触媒床を内蔵したものである場合には、 O_2 センサ 8 は、上流側の触媒床と下流側の触媒床との間に配置するようにすればよい。

【 0 0 6 5 】

ここで、 O_2 センサ 8 は、本発明における排ガスセンサに相当するものであり、その基本構造や特性等をさらに説明する。この O_2 センサ 8 は、図 2 に模式的に示すように、酸素イオンを通しやすい固体電解質、例えば安定ジルコニア（ $ZrO_2 + Y_2O_3$ ）を主材質とする有底筒形状の素子部 1 0（感応部）を備え、この素子部 1 0 の外面及び内面には、それぞれ、多孔質の白金電極 1 1，1 2 がコーティングされている。また、この素子部 1 0 の内部には、該素子部 1 0 の昇温・活性化や温度制御等を行うために電熱ヒータとしての棒状のセラミックヒータ 1 3 が挿入されると共に、セラミックヒータ 1 3 の周囲の空間には一定酸素濃度（一定の酸素分圧）の空気が充填されている。そして、この O_2 センサ 8 は、その素子部 1 0 の先端部の外面が排気管 6 b 内の排ガスに接触するようにセンサ筐体 1 4 を介して排気管 6 b に装着されている。

【 0 0 6 6 】

尚、図 2 中、1 5 は、排気管 6 b 内の素子部 1 0 に異物等が当たらないようにするための筒状のプロテクタであり、排気管 6 b 内の素子部 1 0 は、プロテクタ 1 5 に穿設されている複数の孔（図示省略）を介して排ガスに接触するようになっている。

【 0 0 6 7 】

かかる構造の O_2 センサ 8 では、素子部 1 0 の先端部外面に接触する排ガスの酸素濃度と素子部 1 0 の内部の空気の酸素濃度との差によって、前記白金電極 1 1，1 2 間に排ガスの酸素濃度に応じた起電力が生じる。そして、該 O_2 センサ 8 は、その起電力を図示しない増幅器で増幅してなる出力電圧 V_{out} を外部に出力する。

【 0 0 6 8 】

この場合、排ガスの酸素濃度、あるいは該酸素濃度から把握される排ガスの空

燃比に対する O_2 センサ 8 の出力電圧 V_{out} の特性（出力特性）は、基本的には図 3 に実線のグラフ a で示すような特性（所謂 Z カーブ特性）となる。尚、図 3 の実線のグラフ a は、より詳しくは、素子部 1 0 の温度が $800^{\circ}C$ であるときの O_2 センサ 8 の出力特性を示すグラフである。素子部 1 0 の温度と O_2 センサ 8 の出力特性との関係については後述する。

【 0 0 6 9 】

図 3 のグラフ a に見られるように、 O_2 センサ 8 の出力特性は、一般的に、排ガスの酸素濃度により表わされる空燃比が理論空燃比近傍の狭い空燃比域 Δ に存する状態でのみ、出力電圧 V_{out} が排ガスの空燃比に対してほぼリニアに高感度な変化を示す。つまり、その空燃比域 Δ （以下、高感度空燃比域 Δ という）において、空燃比の変化に対する出力電圧 V_{out} の変化の傾き（出力特性のグラフの傾き）が大きなものとなる。そして、その高感度空燃比域 Δ よりもリッチ側の空燃比域とリーン側の空燃比域とでは、排ガスの空燃比の変化に対する出力電圧 V_{out} の変化の傾き（出力特性のグラフの傾き）が微小なものとなる。

【 0 0 7 0 】

尚、前記広域空燃比センサ 9 は、ここでの詳細な説明は省略するが、例えば特開平 4 - 3 6 9 4 7 1 号公報にて本願出願人が開示した空燃比センサであり、 O_2 センサ 8 よりも広い空燃比域において、排ガスの空燃比に対してリニアに変化する出力電圧 $KACT$ を発生するセンサである。以下の説明では、 O_2 センサ 8 の出力電圧 V_{out} 、広域空燃比センサ 9 の出力電圧 $KACT$ をそれぞれ単に出力 V_{out} 、 $KACT$ ということがある。

【 0 0 7 1 】

本実施形態の装置は、さらに排ガスの空燃比制御や O_2 センサ 8 の素子部 1 0 の温度制御等の処理を実行するコントロールユニット 1 6 を備えている。このコントロールユニット 1 6 は、図示を省略する CPU、RAM、ROM を含むマイクロコンピュータにより構成されたものであり、後述の制御処理を実行するために、前記 O_2 センサ 8、広域空燃比センサ 9 からそれらの出力 V_{out} 、 $KACT$ が入力されると共に、エンジン 1 に備えられたセンサ（図示省略）からエンジン 1 の回転数 NE （回転速度）、吸気圧 PB （詳しくはエンジン 1 の吸気管内圧の絶対圧）

、大気温度 T_A 、機関温度 TW （詳しくはエンジン1の冷却水温）等の検出値を示すデータが与えられる。さらに、コントロールユニット16には、エンジン1の点火装置（図示省略）やコントロールユニット16、前記セラミックヒータ13等の電装品の電源としてのバッテリー（図示省略）の電圧 V_B （以下、バッテリー電圧 V_B という）の検出値を示すデータが図示しないセンサから与えられる。

【0072】

上記コントロールユニット16は、その処理の機能的手段として、エンジン1の排ガスの空燃比を制御する空燃比制御手段17と、 O_2 センサ8の素子部10の温度を制御するセンサ温度制御手段18とを具備している。

【0073】

空燃比制御手段17は、触媒装置4による CO （一酸化炭素）、 HC （炭化水素）、 NO_x （窒素酸化物）の良好な浄化性能（浄化率）を確保するように、触媒装置4にエンジン1から供給される排ガスの空燃比を制御する処理を実行するものである。ここで、前述のような出力特性の O_2 センサ8を触媒装置4の下流側に配置したとき、触媒装置4に供給する排ガスの空燃比（触媒装置4の上流側の排ガスの空燃比）を、 O_2 センサ8の出力 V_{out} がある所定値 V_{op} （図3参照）に整定するような空燃比状態に制御することにより、触媒装置4による CO 、 HC 、 NO_x の良好な浄化性能を該触媒装置4の劣化状態によらずに確保できる。

【0074】

そこで、空燃比制御手段17は、上記所定値 V_{op} を O_2 センサ8の出力 V_{out} の目標値とし、この目標値 V_{op} に O_2 センサ8の出力 V_{out} を整定・維持するようにエンジン1から触媒装置4に供給される排ガスの空燃比を制御する。この空燃比制御は、例えば、 O_2 センサ8の出力 V_{out} を目標値 V_{op} に収束させるように、フィードバック制御処理により触媒装置4に供給する排ガスの目標空燃比を決定し、この目標空燃比に広域空燃比センサ9の出力 $KACT$ （空燃比の検出値）を収束させるように、フィードバック制御処理によりエンジン1の燃料供給量を調整することで実行される。尚、空燃比制御手段17のより具体的な処理は、本願発明の本質をなすものではないので、ここでの詳細な説明は省略するが、例えば本願出願人が特開平11-324767号公報にて公開した明細書の段落番号【007

1] ~ [0362]に記載されているように行われる。

【0075】

ところで、 O_2 センサ8の出力特性は、素子部10の温度の影響を受けて変化する。例えば、素子部10の温度が800℃、750℃、700℃、600℃であるときの O_2 センサ8の出力特性は、それぞれ図3の実線のグラフa、破線のグラフb、一点鎖線のグラフb、二点鎖線のグラフdで示すような特性となる。この場合、図3を参照して明らかなように、特に750℃よりも低い温度域で素子部10の温度が変化すると、理論空燃比近傍（前記高感度空燃比域 Δ ）における O_2 センサ8の出力Voutの変化の傾き（感度）や、該高感度空燃比域 Δ よりもリッチ側における出力Voutのレベル等が変化しやすい。尚、素子部10の温度が750℃以上である場合には、素子部10の温度変化に対する O_2 センサ8の出力特性の変化は微小になり、該出力特性がほぼ一定になる。

【0076】

O_2 センサ8の出力特性が上記のように素子部10の温度状態によって変化するため、その温度状態によっては、前記空燃比制御手段17による制御性（安定性や速応性）が悪化する虞れがある。これは、 O_2 センサ8の出力Voutをある目標値Vopに維持するように排ガスの空燃比を制御する上では、特に、理論空燃比近傍での O_2 センサ8の出力特性、すなわち、前記高感度空燃比域 Δ における出力特性が制御性に大きな影響を及ぼしやすいからである。また、触媒装置4の触媒7による排ガスの浄化性能が良好に保たれるような O_2 センサ8の出力Voutの目標値Vopも、特に、750℃よりも低い温度域における素子部9の温度状態によって変化する。従って、空燃比制御手段17による空燃比の制御（ O_2 センサ8の出力Voutを目標値Vopに維持する制御）を良好に行い、また、触媒装置4の浄化性能を良好に確保するためには、 O_2 センサ8の素子部10の温度は、基本的には一定温度に維持されていることが好ましい。

【0077】

この場合、 O_2 センサ8では、素子部10の温度を750℃以上の温度に維持すると、前述のように O_2 センサ8の出力特性がほぼ一定になって安定する。また、本願発明者等の知見によれば、素子部10の温度を750℃以上の温度で、

例えば 800°C に維持すると、触媒装置 4 の触媒 7 による排ガスの浄化性能が良好に保たれるような O_2 センサ 8 の出力 V_{out} の目標値 V_{op} が、図 3 のグラフ a において参照符号 Y を付した部分、すなわち、 O_2 センサ 8 の出力特性のグラフ a の傾きが空燃比のリッチ化に伴い大きな傾きから微小な傾きに切替る変曲点部分 Y に存するようになる。そして、このとき、この目標値 V_{op} に O_2 センサ 8 の出力 V_{out} を維持するような空燃比制御を良好に行うことができる。これは、変曲点部 Y における O_2 センサ 8 の出力 V_{out} の空燃比に対する感度が過大でも過小でもない適正な感度になるためと考えられる。

【0078】

このため、本実施形態では、前記センサ温度制御手段 18 により、 O_2 センサ 8 の素子部 10 の温度を前記セラミックヒータ 13 を介して所望の温度に制御するようにしている。その所望の温度は、基本的には 750°C 以上の温度で、例えば 800°C である。このセンサ温度制御手段 18 の制御処理を以下に詳説する。

【0079】

センサ温度制御手段 18 は、その主要な機能を分類すると、図 4 に示すように、排気通路 3 での O_2 センサ 8 の配置箇所近傍（排気管 6 b の中間部分の箇所）の排ガス温度 T_{gd} を逐次推定する排気温オブザーバ 19 と、その排ガス温度 T_{gd} の推定値等を用いて O_2 センサ 8 の素子部 10 の温度 T_{O_2} 及びセラミックヒータ 13 の温度 T_{ht} を推定する素子温オブザーバ 20（温度推定手段）と、素子部 10 の温度の目標値 R（目標温度）を設定する目標値設定手段 21 と、素子部 10 の温度 T_{O_2} 及びセラミックヒータ 13 の温度 T_{ht} の推定値、目標値 R、並びに排ガス温度 T_{gd} の推定値等を用いてセラミックヒータ 13 の通電制御（セラミックヒータ 13 への供給電力の制御）を行うヒータコントローラ 22（ヒータ制御手段）とを備えている。尚、排気温オブザーバ 19 には、排ガス温度 T_{gd} の推定処理を行うために、エンジン 1 の回転数 NE、吸気圧 PB、及び大気温度 T_{A} の検出データが与えられる。また、ヒータコントローラ 22 と、素子温オブザーバ 20 とには、それらの演算処理を後述するように行うために、前記バッテリー電圧 VB の検出データが与えられる。

【0080】

ここで、本実施形態では、セラミックヒータ13は、図示を省略するヒータ通電回路にパルス電圧を付与することにより通電制御（PWM制御）されるものであり、該セラミックヒータ13への供給電力は、そのパルス電圧のデューティDUT（パルス電圧の1周期に対するパルス幅の割合）を調整することによって制御できる。このため、ヒータコントローラ22は、上記ヒータ通電回路に付与するパルス電圧のデューティDUTをセラミックヒータ13を制御するための制御入力（操作量）として逐次求め、このデューティDUTを調整することにより、該セラミックヒータ13への供給電力、ひいては、該ヒータ13の発熱量を制御するようにしている。尚、ヒータコントローラ22が生成するデューティDUTは、素子温オブザーバ20の演算処理でも使用される。

【0081】

排気温オブザーバ19は、本実施形態では、エンジン1の排気ポート2からO₂センサ8の配置箇所までの排気通路3（O₂センサ8の上流側の排気通路3）を該排気通路3の延在方向（排ガスの流れ方向）に沿って複数（本実施形態では例えば4個）の部分排気通路3a～3dに区分けしておき、所定のサイクルタイム（周期）で、排気ポート2（排気通路3の入り口部分）における排ガスの温度と、各部分排気通路3a～3dにおける排ガスの温度（詳しくは各部分排気通路3a～3dの下流端における排ガスの温度）とを上流側のものから順番に推定するものである。これらの部分排気通路3a～3dのうち、部分排気通路3a、3bは、触媒装置4の上流側の排気通路3（排気管6aにより形成された排気通路）を2つに区分けしてなる部分排気通路であり、部分排気通路3cは、触媒装置4の入り口から出口までの部分排気通路（触媒装置4の触媒7の内部に形成された排気通路）、部分排気通路3dは、触媒装置4の出口からO₂センサ8の配置箇所までの排気管6bにより形成された部分排気通路である。この排気温オブザーバ19のアルゴリズムは次のように構築されている。

【0082】

まず、エンジン1の排気ポート2における排ガス温度は、エンジン1の定常的な運転状態（詳しくはエンジン1の回転数NE及び吸気圧PBが一定に維持される運転状態）では、基本的にはエンジン1の回転数NEと吸気圧PBとに応じたものと

なる。従って、排気ポート2における排ガス温度は、基本的にはエンジン1の運転状態を表すパラメータとしての回転数NE及び吸気圧PBの検出値から例えばあらかじめ実験等に基づいて定めたマップに基づいて推定することができる。但し、エンジン1の運転状態（回転数NEや吸気圧PB）が変動する場合には、排ガスと排気ポート2の近傍の壁部やエンジン1の燃焼室等との熱交換によって、排気ポート2における排ガス温度は、上記のようにマップにより求められる排ガス温度（以下、基本排ガス温度TMAP(NE, PB)という）に対して応答遅れを生じる。

【0083】

そこで、本実施形態では、排気温オブザーバ19は、所定のサイクルタイム（演算処理周期）毎に、エンジン1の回転数NE及び吸気圧PBの検出値（最新の検出値）から基本排ガス温度TMAP(NE, PB)をマップにより求めた後に、さらに排気ポート2における排ガス温度Texgを、次式（1）のように基本排ガス温度TMAP(NE, PB)に対して遅れ（一次遅れ）を伴って追従する値として逐次推定する。

【0084】

【数1】

$$\text{Texg}(k) = (1 - K_{\text{tex}}) \cdot \text{Texg}(k-1) + K_{\text{tex}} \cdot \text{TMAP}(\text{NE}, \text{PB}) \quad \cdots \cdots (1)$$

【0085】

ここで、式（1）中のkは、排気温オブザーバ19の演算処理周期の番数である。また、Ktexはあらかじめ実験等に基づき定められた係数（遅れ係数）であり、 $0 < K_{\text{tex}} < 1$ である。尚、本実施形態では、エンジン1の吸気圧PBは、エンジン1の吸入空気量を表すパラメータとしての意味をもつものである。従って、例えば吸入空気量を直接的に検出するフローセンサが備えられている場合には、そのフローセンサの出力（吸入空気量の検出値）を吸気圧PBの検出値の代わりに用いてもよい。また、排ガス温度Texgの推定値の初期値Texg(0)は、本実施形態では、後述するように、エンジン1の運転開始時（エンジン1の始動時）に大気温度センサ（図示省略）により検出された大気温度TA、あるいは、機関温度センサ（図示省略）により検出された機関温度TW（エンジン1の冷却水温）に設定される。

【0086】

このようにして求められる排気ポート2の排ガス温度 T_{exg} の推定値を用いて、各部分排気通路3a～3dにおける排ガスの温度は以下に説明するように推定される。まず、説明の便宜上、一般的に、図5に示すように、大気中でZ軸方向に延びる円管23内を流体が円管23の管壁と熱交換しながら流れる場合における熱伝達に関して説明する。ここで、流体温度 T_g 、管壁の温度 T_w （以下、円管温度 T_w という）が時刻 t とZ軸方向の位置 z との関数 $T_g(t, z)$ 、 $T_w(t, z)$ であるとし、円管23の管壁の熱伝導率は径方向に無限大で、且つZ軸方向には「0」であると仮定する。また、流体と円管23の管壁との間の熱伝達、並びに、円管23の管壁とその外部の大気との間の熱伝達は、ニュートンの冷却則に従ってそれぞれの温度差に比例するものとする。このとき、次式（2-1）、（2-2）が成立する。

【0087】

【数2】

$$S_g \cdot \rho_g \cdot C_g \cdot \left(\frac{\partial T_g}{\partial t} + V \cdot \frac{\partial T_g}{\partial z} \right) = \alpha_1 \cdot U \cdot (T_w - T_g) \quad \dots\dots(2-1)$$

$$S_w \cdot \rho_w \cdot C_w \cdot \frac{\partial T_w}{\partial t} = \alpha_1 \cdot U \cdot (T_g - T_w) + \alpha_2 \cdot U \cdot (T_A - T_w) \quad \dots\dots(2-2)$$

【0088】

ここで、 S_g 、 ρ_g 、 C_g はそれぞれ流体の密度、比熱、流路断面積、 S_w 、 ρ_w 、 C_w はそれぞれ円管23の管壁の密度、比熱、断面積、 V は円管23を流れる流体の流速、 T_A は円管23の外部の大気温度である。また、 U は円管23の内周長、 α_1 は流体と円管23の管壁との間の熱伝達率、 α_2 は円管23の管壁と大気との間の熱伝達率である。尚、大気温度 T_A は、円管23の周囲で一定に維持されているとする。

【0089】

これらの式（2-1）、（2-2）を整理すると、次式（3-1）、（3-2）が得られる。

【0090】

【数 3】

$$\frac{\partial T_g}{\partial t} = -V \cdot \frac{\partial T_g}{\partial z} + a \cdot (T_w - T_g) \quad \cdots \cdots (3-1)$$

$$\frac{\partial T_w}{\partial t} = b \cdot (T_g - T_w) + c \cdot (T_A - T_w) \quad \cdots \cdots (3-2)$$

【0091】

但し、これらの式(3-1)、(3-2)において、 a 、 b 、 c は定数であり、 $a = \alpha_1 \cdot U / (S_g \cdot \rho_g \cdot c_g)$ 、 $b = \alpha_1 \cdot U / (S_w \cdot \rho_w \cdot c_w)$ 、 $c = \alpha_2 \cdot U / (S_w \cdot \rho_w \cdot c_w)$ である。

【0092】

式(3-1)の右辺第1項は、位置 z での流体の流れ方向の温度勾配と流体の流速とに応じた流体温度 T_g の時間的変化率(単位時間当たりの温度変化量)を表す移流項である。また、式(3-1)の右辺第2項は、位置 z での流体温度 T_g と円管温度 T_w との偏差に応じた流体温度 T_g の時間的変化率(単位時間当たりの温度変化量)、すなわち、流体と円管23の管壁との間の熱伝達に伴う流体温度 T_g の時間的変化率を表す熱伝達項である。従って、この式(3-1)は、位置 z での流体温度 T_g の時間的変化率 $\partial T_g / \partial t$ が、上記移流項の温度変化成分と、上記熱伝達項の温度変化成分とに応じたもの(それらの温度変化成分の総和)になるということを示すものである。

【0093】

また、式(3-2)の右辺第1項は、位置 z での円管温度 T_w と流体温度 T_g との偏差に応じた円管温度 T_w の時間的変化率(単位時間当たりの温度変化量)、すなわち、位置 z での流体と円管23の管壁との間の熱伝達に伴う円管温度 T_w の時間的変化率を表す熱伝達項である。また、式(3-2)の右辺第2項は、位置 z での円管温度 T_w と外部の大気温度 T_A との偏差に応じた円管温度 T_w の時間的変化率(単位時間当たりの温度変化量)、すなわち、位置 z での円管23の管壁から大気への放熱に応じた円管温度 T_w の時間的変化率を表す放熱項である。

そして、式(3-2)は、位置 z での円管温度 T_w の時間的変化率 $\partial T_w / \partial t$ が、上記熱伝達項の温度変化成分と放熱項の温度変化成分とに応じたもの(それら

の温度変化成分の総和)になるということを示すものである。

【0094】

これらの式(3-1)、(3-2)を差分法によって書き改めて整理すると次式(4-1)、(4-2)が得られる。

【0095】

【数4】

$$T_g(t+\Delta t, z) = T_g(t, z) - \frac{V \cdot \Delta t}{\Delta z} \cdot (T_g(t, z) - T_g(t, z - \Delta z)) \\ + a \cdot \Delta t \cdot (T_w(t, z) - T_g(t, z)) \quad \cdots \cdots (4-1)$$

$$T_w(t+\Delta t, z) = T_w(t, z) + b \cdot \Delta t \cdot (T_g(t, z) - T_w(t, z)) \\ + c \cdot \Delta t \cdot (T_A - T_w(t, z)) \quad \cdots \cdots (4-2)$$

【0096】

これらの式(4-1)、(4-2)は、位置 z 、時刻 t での流体温度 $T_g(t, z)$ 及び円管温度 $T_w(t, z)$ と、位置 z の直前(上流側)の位置 $z - \Delta z$ における時刻 t での流体温度 $T_g(t, z - \Delta z)$ とが判れば、位置 z における次の時刻 $t + \Delta t$ での流体温度 $T_g(t + \Delta t, z)$ 、 $T_w(t + \Delta t, z)$ を求めることができ、さらにこれらの式を直列的に連立させることで、位置 $z + \Delta z$ 、 $z + 2\Delta z$ 、 \cdots での流体温度 T_g 及び円管温度 T_w を順番に求めることができることを意味する。つまり、各位置 z 、 $z + \Delta z$ 、 $z + 2\Delta z$ 、 \cdots での T_g 、 T_w の初期値($t=0$ での初期値)を与えるとともに、円管23の Z 軸方向の任意の原点(例えば円管23の入り口)の流体温度 $T_g(t, 0)$ を与えれば(ここでは $z - \Delta z = 0$ とする)、位置 z 、 $z + \Delta z$ 、 $z + 2\Delta z$ 、 \cdots における各時刻 t 、 $t + \Delta t$ 、 $t + 2\Delta t$ 、 \cdots での T_g 、 T_w を算出できる。

【0097】

この場合、位置 z での流体温度 $T_g(t, z)$ は、所定時間毎に、流速 V と位置 z での温度勾配とに応じた温度変化成分(式(4-1)の第2項が表す温度変化成分)と、位置 z での流体温度 T_g と円管温度 T_w との偏差に応じた温度変化成分(式(4-1)の第3項が表す温度変化成分)とを、初期値 $T_g(0, z)$ に累積加算(積分)することにより算出できる。他の位置 $z + \Delta z$ 、 $z + 2\Delta z$ 、 \cdots についても同様である。また、位置 z での円管温度 $T_w(t, z)$ は、所定時間毎に、位置 z での流体温

度 T_g と円管温度 T_w との偏差に応じた温度変化成分（式（4-2）の第2項が表す温度変化成分）と、位置 z での円管温度 T_w と大気温度 T_A と偏差に応じた温度変化成分（式（4-2）の第3項が表す温度変化成分）を、初期値 $T_w(0,z)$ に累積加算（積分）することにより算出できる。

【0098】

そこで、本実施形態では、排気温オブザーバ19は、式（4-1）、（4-2）のモデル式を基本式として用い、各部分排気通路3a～3dにおける排ガスの温度を次のようにして求める。

【0099】

まず、部分排気通路3a～3dのうち、部分排気通路3a、3bは、いずれも排気管6aを通路形成物として形成されている。そして、本実施形態では、これらの部分排気通路3a、3bにおける排ガスの温度を推定するために、前記円管23に関して説明した場合と同様に、排ガスの流速と温度勾配（排ガスの流れ方向での温度勾配）とに応じた温度変化と、排ガスと排気管6aとの間の熱伝達と、排気管6aから大気への放熱とを考慮する。

【0100】

この場合、部分排気通路3aにおける排ガス温度 T_{ga} の推定値は、部分排気通路3aにおける排気管6aの温度 T_{wa} （以下、排気管温度 T_{wa} という）の推定値と併せて、排気温オブザーバ19の処理のサイクルタイム毎に、次のモデル式（5-1）、（5-2）により求められる。また、部分排気通路3bにおける排ガスの温度 T_{gb} の推定値は、部分排気通路3bにおける排気管温度 T_{wb} の推定値と併せて、排気温オブザーバ19の処理のサイクルタイム毎に、次のモデル式（6-1）、（6-2）により求められる。尚、式（5-1）、（5-2）により求められる排ガス温度 T_{ga} 及び排気管温度 T_{wa} はより詳しくは、部分排気通路3aの下流端近傍における温度の推定値である。同様に、式（6-1）、（6-2）により求められる排ガス温度 T_{gb} 及び排気管温度 T_{wb} はより詳しくは、部分排気通路3bの下流端近傍における温度の推定値である。

【0101】

【数 5】

【数5】

$$T_{ga}(k+1) = T_{ga}(k) - V_g \cdot \frac{dt}{L_a} \cdot (T_{ga}(k) - T_{exg}(k)) + A_a \cdot dt \cdot (T_{wa}(k) - T_{ga}(k))$$

.....(5-1)

$$T_{wa}(k+1) = T_{wa}(k) + B_a \cdot dt \cdot (T_{ga}(k) - T_{wa}(k)) + C_a \cdot dt \cdot (T_A(k) - T_{wa}(k))$$

.....(5-2)

【0 1 0 2】

【数 6】

$$T_{gb}(k+1) = T_{gb}(k) - V_g \cdot \frac{dt}{L_b} \cdot (T_{gb}(k) - T_{ga}(k)) + A_b \cdot dt \cdot (T_{wb}(k) - T_{gb}(k))$$

.....(6-1)

$$T_{wb}(k+1) = T_{wb}(k) + B_b \cdot dt \cdot (T_{gb}(k) - T_{wb}(k)) + C_b \cdot dt \cdot (T_A(k) - T_{wb}(k))$$

.....(6-2)

【0 1 0 3】

これらの式 (5-1)、(5-2)、(6-1)、(6-2) 中の dt は、排気温オブザーバ 19 の処理の周期 (サイクルタイム) であり、前記式 (4-1)、(4-2) の Δt に相当する。この dt の値はあらかじめ定められている。また、式 (5-1)、(6-1) 中の L_a 、 L_b はそれぞれ部分排気通路 3 a、3 b の長さ (固定値) であり、前記式 (4-1) の Δz に相当する。また、式 (5-1)、(5-2) 中の A_a 、 B_a 、 C_a 、並びに式 (6-1)、(6-2) 中の A_b 、 B_b 、 C_b は、それぞれ式 (4-1)、(4-2) の a 、 b 、 c に相当するモデル係数であり、それらの値はあらかじめ実験やシミュレーションに基づいて設定 (同定) される。また、式 (5-1)、(6-1) 中の V_g は排ガスの流速を示すパラメータ (これは後述するように求められる) であり、式 (4-1) の V に相当するものである。

【0 1 0 4】

ここで、式 (5-1) により排ガス温度 T_{ga} の新たな推定値 $T_{ga}(k+1)$ を算出

するために必要な排ガス温度 $T_{\text{exg}}(k)$ (排気ポート 2 における排ガス温度) は、基本的には前記式 (1) により求められた最新値が用いられる。同様に、式 (6-1) により排ガス温度 T_{gb} の新たな推定値 $T_{\text{gb}}(k+1)$ を算出するために必要な排ガス温度 $T_{\text{ga}}(k)$ (部分排気通路 3 a における排ガス温度) は、基本的には前記式 (5-1) により求められた最新値が用いられる。また、式 (5-2)、(6-2) の演算に必要な大気温度 $T_A(k)$ は、図示しない大気温度センサ (これは本実施形態ではエンジン 1 に備えられたセンサが代用的に用いられる) により検出された大気温度 T_A の最新値が用いられる。さらに、式 (5-1)、(6-1) の演算に必要な流速パラメータ V_g は、本実施形態では、エンジン 1 の回転数 NE 及び吸気圧 PB の最新の検出値から、次式 (7) により算出された値が用いられる。

【0105】

【数 7】

$$V_g = \frac{NE}{NEBASE} \cdot \frac{PB}{PBBASE} \quad \dots\dots (7)$$

【0106】

この式 (7) 中の $NEBASE$ 、 $PBBASE$ は、それぞれあらかじめ定めた所定回転数、所定吸気圧であり、それぞれ例えばエンジン 1 の最大回転数、760 mmHg (≈ 101 kPa) に設定されている。この式 (7) により算出される流速パラメータ V_g は排ガスの流速に比例し、また、 $V_g \leq 1$ となる。

【0107】

尚、排ガス温度 T_{ga} 及び排気管温度 T_{wa} 、並びに排ガス温度 T_{gb} 及び排気管温度 T_{wb} のそれぞれの推定値の初期値 $T_{\text{ga}}(0)$ 、 $T_{\text{wa}}(0)$ 、 $T_{\text{gb}}(0)$ 、 $T_{\text{wb}}(0)$ は、本実施形態では、後述するように、エンジン 1 の運転開始時 (エンジン 1 の始動時) に前記大気温度センサ (図示省略) により検出された大気温度 T_A 、あるいは、機関温度センサ (図示省略) により検出された機関温度 TW (エンジン 1 の冷却水温) に設定される。

【0108】

次に、部分排気通路 3 c は、触媒装置 4 の触媒 7 を通路形成物として形成された排気通路である。そして、この触媒 7 はその排ガス浄化作用（詳しくは酸化・還元反応）によって自己発熱を伴い、その発熱量（単位時間当たりの発熱量）は概ね排ガスの流速に比例する。これは、排ガスの流速が大きい程、単位時間当たりに触媒 7 と反応する排ガス成分が多くなるためである。

【 0 1 0 9 】

そこで、本実施形態では、部分排気通路 3 c における排ガス温度の推定に関しては、その推定を精度よく行うために、排ガスの流速と温度勾配とに応じた温度変化と、排ガスと触媒装置 4 の触媒 7 との間の熱伝達と、該触媒 7 から大気への放熱とを考慮することに加えて、さらに、該触媒 7 の自己発熱を考慮する。

【 0 1 1 0 】

この場合、部分排気通路 3 c における排ガス温度 T_{gc} の推定値は、部分排気通路 3 c を形成する触媒 7 の温度 T_{wc} （以下、触媒温度 T_{wc} という）の推定値と併せて、排気温オブザーバ 1 9 の処理のサイクルタイム毎に、次のモデル式（8-1）、（8-2）により求められる。尚、式（8-1）により求められる排ガス温度 T_{gc} 及び触媒温度 T_{wc} はより詳しくは、部分排気通路 3 a の下流端（触媒装置 4 の出口近傍）における温度の推定値である。

【 0 1 1 1 】

【数 8】

$$T_{gc}(k+1) = T_{gc}(k) - V_g \cdot \frac{dt}{L_c} \cdot (T_{gc}(k) - T_{gb}(k)) + A_c \cdot dt \cdot (T_{wc}(k) - T_{gc}(k)) \quad \dots\dots (8-1)$$

$$T_{wc}(k+1) = T_{wc}(k) + B_c \cdot dt \cdot (T_{gc}(k) - T_{wc}(k)) + C_c \cdot dt \cdot (T_A(k) - T_{wc}(k)) + D_c \cdot dt \cdot V_g \quad \dots\dots (8-2)$$

【 0 1 1 2 】

式（8-1）中の L_c は部分排気通路 3 c の長さ（固定値）であり、前記式（4-1）の Δz に相当する。また、式（8-1）、（8-2）中の A_c 、 B_c 、

Ccは、それぞれ式(4-1)、(4-2)のa、b、cに相当するモデル係数であり、それらの値はあらかじめ実験やシミュレーションに基づいて設定(同定)される。また、式(8-2)の右辺第4項は、触媒装置4の触媒7の自己発熱による触媒7の温度変化成分(排気温度オブザーバ19の処理の1周期当たりの温度変化量)を示すものであり、流速パラメータVgに比例する。そして、この第4項のDcは、前記Ac~Ccと同様に、その値があらかじめ実験やシミュレーションに基づいて設定(同定)されるモデル係数である。従って、式(8-2)は、前記式(4-2)の右辺に、さらに通路形成物(ここでは触媒7)の自己発熱に伴う温度変化成分を付加したものに相当する。

【0113】

尚、式(8-1)、(8-2)中のdt、Vgの意味及びその値は、前記式(5-1)~(6-2)のものと同一である。また、式(8-2)の演算で用いるTAの値は、前記式(5-2)、(6-2)で用いるものと同一である。さらに、排ガス温度Tgc及び触媒温度Twcの初期値Tgc(0)、Twc(0)は、本実施形態では、式(5-1)~(6-2)の場合と同様、エンジン1の運転開始時における大気温度TAの検出値、あるいは機関温度TWの検出値である。

【0114】

次に、部分排気通路3dは、それを形成する通路形成物が、前記部分排気通路3a、3bと同様の排気管6bである。従って、この部分排気通路3dの排気温度Tgd及び排気管温度Twd(より詳しくは部分排気通路3dの下流端における温度)は、前記式(5-1)~(6-2)と同様の次のモデル式(9-1)、(9-2)により求められる。

【0115】

【数9】

$$Tgd(k+1) = Tgd(k) - Vg \cdot \frac{dt}{Ld} \cdot (Tgd(k) - Tgc(k)) + Ad \cdot dt \cdot (Twd(k) - Tgd(k)) \quad \dots\dots(9-1)$$

$$Twd(k+1) = Twd(k) + Bd \cdot dt \cdot (Tgd(k) - Twd(k)) + Cd \cdot dt \cdot (TA(k) - Twd(k)) \quad \dots\dots(9-2)$$

【 0 1 1 6 】

式 (9 - 1) 中の L_d は部分排気通路 3 d の長さ (固定値) であり、前記式 (4 - 1) の Δz に相当する。また、式 (9 - 1) 、 (9 - 2) 中の A_d 、 B_d 、 C_d は、それぞれ式 (4 - 1) 、 (4 - 2) の a 、 b 、 c に相当するモデル係数であり、それらの値はあらかじめ実験やシミュレーションに基づいて設定 (同定) される。

【 0 1 1 7 】

尚、式 (9 - 1) 、 (9 - 2) 中の dt 、 V_g の意味及びその値は、前記式 (5 - 1) ~ (6 - 2) のものと同一である。また、式 (9 - 2) の演算で用いる T_A の値は、前記式 (5 - 2) 、 (6 - 2) 、 (8 - 2) で用いるものと同一である。さらに、排ガス温度 T_{gd} 及び触媒温度 T_{wd} の推定値の初期値 $T_{gd}(0)$ 、 $T_{wd}(0)$ は、式 (5 - 1) ~ (6 - 2) の場合と同様、エンジン 1 の運転開始時における大気温度 T_A の検出値、あるいは機関温度 T_W の検出値である。

【 0 1 1 8 】

以上説明した排気温オブザーバ 1 9 の処理によって、各サイクルタイム毎に、エンジン 1 の排気ポート 2 及び各部分排気通路 3 a ~ 3 d の排ガス温度 T_{exe} 、 T_{ga} 、 T_{gb} 、 T_{gc} 、 T_{gd} の推定値が上流側から順番に求められる。この場合、最下流側の部分排気通路 3 d の排ガス温度 T_{gd} の推定値は、 O_2 センサ 8 の配置箇所近傍での排ガスの温度に相当するものとなり、該排ガス温度 T_{gd} の推定値が O_2 センサ 8 の配置箇所近傍での排ガス温度の推定値として得られる。本実施形態では、この排ガス温度 T_{gd} の推定値が、本発明における排ガス温度データに相当するものである。

【 0 1 1 9 】

上記排気温オブザーバ 1 9 の推定処理のアルゴリズムをブロック図で表すと、図 6 に示すように表される。同図 6 では、前記式 (1) のモデル式を排気ポート熱モデル 2 4 、前記式 (5 - 1) 及び (5 - 2) のモデル式と、式 (6 - 1) 及び (6 - 2) のモデル式とをそれぞれ CAT 前排気系熱モデル 2 5 、 2 6 、式 (8 - 1) 及び (8 - 2) のモデル式を CAT 部排気系熱モデル 2 7 、式 (9 - 1) 及び (9 - 2) のモデル式を CAT 後排気系熱モデル 2 8 と称している。同図示のよ

うに、各熱モデル24～28には、エンジン1の回転数NE及び吸気圧PBの検出値が与えられる。尚、排気ポート熱モデル24に与えられるNE、PBは、基本排ガス温度TMAPを求めるためのものであり、排気系熱モデル25～28に与えられるNE、PBは、前記流速パラメータVgの値を求めるためのものである。さらに、排気系熱モデル25～28には、大気温度 T_A の検出値が与えられる。そして、CAT前排気系熱モデル25、CAT前排気系熱モデル26、CAT部排気系熱モデル27、CAT後排気系熱モデル28には、それぞれの一つ上位側の熱モデル24、25、26、27の出力としての排ガス温度 T_{exg} 、 T_{ga} 、 T_{gb} 、 T_{gc} の推定値がそれぞれ与えられ、最終的にCAT後排気系熱モデル28により、 O_2 センサ8の配置箇所近傍での排ガス温度 T_{gd} の推定値（排ガス温度データ）が得られる。

【0120】

尚、本実施形態では、各部分排気通路3a～3dの通路形成物（排気管6a、触媒装置4の触媒7、排気管6b）の温度を推定するために、エンジン1に備えた大気温度センサの検出値を代用するようにしたが、排気通路3の外方に大気温度センサを別途配置しておき、その大気温度センサの検出値を用いるようにしてもよい。

【0121】

次に前記素子温オブザーバ20について説明する。素子温オブザーバ20は、本実施形態では、 O_2 センサ8の素子部10とこれに接触する排ガスとの間の熱伝達、素子部10からその内部の空気への放熱、並びに、該素子部10とこれを加熱するセラミックヒータ13（以下、単にヒータ13という）との間の熱伝達を考慮して素子部10の温度 T_{O2} を所定のサイクルタイムで逐次推定するものである。そして、この推定を行うためにヒータ13の温度 T_{ht} の推定も併せて行うようにしている。この場合、ヒータ13の温度 T_{ht} の推定処理においては、該ヒータ13と素子部10との間の熱伝達、並びにヒータ13から素子部10の内部の空気への放熱を考慮すると共に、該ヒータ13への電力供給に伴う該ヒータ13の発熱を考慮する。このような推定処理を行う素子温オブザーバ20の推定アルゴリズムは以下に説明するように構築されている。

【0122】

すなわち、素子温オブザーバ20は、 O_2 センサ8の素子部10の温度 T_{O2} （以下、素子温度 T_{O2} という）の推定値と、ヒータ13の温度 T_{ht} （以下、ヒータ温度 T_{ht} という）の推定値とを、それぞれ次のモデル式（10-1）、（10-2）によりそれぞれ所定のサイクルタイムで逐次求める。式（10-1）は、素子温モデルの式であり、式（10-2）はヒータ温モデルの式である。

【0123】

【数10】

$$\begin{aligned} T_{O2}(k+1) = & T_{O2}(k) + A_x \cdot dt \cdot (T_{gd}(k) - T_{O2}(k)) \\ & + B_x \cdot dt \cdot (T_{ht}(k) - T_{O2}(k)) - E_x \cdot dt \cdot (T_{O2}(k) - T_A'(k)) \\ & \dots\dots(10-1) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_{ht}(k+1) = & T_{ht}(k) - C_x \cdot dt \cdot (T_{ht}(k) - T_{O2}(k)) \\ & - F_x \cdot dt \cdot (T_{ht}(k) - T_A'(k)) + D_x \cdot dt \cdot DUT(k) \cdot \frac{VB(k)^2}{NVB^2} \\ & \dots\dots(10-2) \end{aligned}$$

【0124】

式（10-1）は、サイクルタイム毎の素子部10の温度変化量が、 O_2 センサ8の配置箇所近傍での排ガス温度 T_{gd} （前記部分排気通路3dの排ガス温度）と素子温度 T_{O2} との偏差に応じた温度変化成分（式（10-1）の右辺第2項）、すなわち、素子部10とこれに接触する排ガスとの間の熱伝達に伴う温度変化成分と、素子温度 T_{O2} とヒータ温度 T_{ht} との偏差に応じた温度変化成分（式（10-1）の右辺第3項）、すなわち、素子部10とセラミックヒータ13との間の熱伝達に伴う温度変化成分と、素子温度 T_{O2} と素子部10の内部の空気の温度 T_A' との偏差に応じた温度変化成分（式（10-1）の右辺第4項）、すなわち、素子部10からその内部の空気への放熱に伴う温度変化成分とに応じたもの（それらの温度変化成分の総和）になるということを示している。

【0125】

また、式（10-2）は、サイクルタイム毎のヒータ13の温度変化量が、素子温度 T_{O2} とヒータ温度 T_{ht} との偏差に応じた温度変化成分（式（10-2）の右辺第2項）、すなわち、素子部10とヒータ13との間の熱伝達に伴う温度変

化成分と、ヒータ温度 T_{ht} と素子部 10 の内部の空気の温度 T_A' との偏差に応じた温度変化成分（式（10-2）の右辺第3項）、すなわちヒータ 13 から素子部 10 の内部の空気への放熱に伴う温度変化成分と、ヒータコントローラ 22 が後述するように生成するデューティ DUT（より正確には、ヒータコントローラ 22 がヒータ 13 の通電を制御するために実際に用いるデューティ DUT）とバッテリー電圧 V_B の 2 乗値 V_B^2 との積に応じた温度変化成分（式（10-2）の右辺第4項）、すなわちヒータ 13 への電力供給による該ヒータ 13 の発熱に伴う温度変化成分とに応じたもの（それらの温度変化成分の総和）になるということを示している。

【0126】

尚、式（10-1）、（10-2）中の A_x 、 B_x 、 C_x 、 D_x 、 E_x 、 F_x は、その値があらかじめ実験やシミュレーションに基づいて設定（同定）されるモデル係数である。また、 dt は素子温オブザーバ 20 の処理の周期（サイクルタイム）であり、本実施形態では前述の排気温オブザーバ 19 の処理のサイクルタイム（前記式（5-1）～（9-2）の dt ）と同一の値に設定されている。また、式（10-2）中の NVB は、バッテリー電圧 V_B のあらかじめ定めた基準値（例えば 1.4 V）である。該基準値は、基本的にはバッテリー電圧 V_B の標準的な電圧（通常的に採り得る電圧）で任意に設定すればよい。

【0127】

ここで、式（10-2）の右辺第4項に関して補足説明をしておくと、ヒータ 13 の PWM 制御のデューティを一定とし、また、ヒータ 13 の通電抵抗値が一定であるとしたとき、ヒータ 13 の供給電力は、ヒータ 13 の印加電圧の 2 乗に比例し、該印加電圧は、バッテリー電圧 V_B に比例する。また、デューティ DUT は、PWM 制御用のパルス電圧の 1 周期当たりのヒータ 13 の通電時間を規定するものである。従って、このデューティ DUT とバッテリー電圧 V_B の 2 乗値 V_B^2 との積がヒータ 13 への供給電力に比例するものとなる。そして、バッテリー電圧 V_B は、例えば、バッテリーの充電用のオルタネータの ON/OFF 等によって変動する。そこで、式（10-2）では、ヒータ 13 への電力供給による該ヒータ 13 の発熱に伴う温度変化成分を得るために、デューティ DUT とバッテリー電圧 V_B の 2 乗値 V_B^2 とを乗

算するようにしている。

【0128】

尚、式(10-2)の演算に必要なデューティDUT(k)は、ヒータコントローラ22がヒータ13の通電制御(PWM制御)を行うために実際に使用したデューティDUTの最新値が用いられる。また、式(10-1)，(10-2)の演算に必要な素子部10内の空気の温度 T_A' (k)は、本実施形態では、前記大気温度センサにより検出された大気温度 T_A の最新値が代用的に用いられる。従って、本実施形態では T_A' (k) = T_A (k)である。さらに、素子温度 T_{02} 及びヒータ温度 T_{ht} の推定値の初期値 $T_{02}(0)$ 、 $T_{ht}(0)$ は、本実施形態では、後述するように、エンジン1の運転開始時における大気温度 T_A の検出値あるいは機関温度 T_W の検出値である。

【0129】

以上説明したアルゴリズムにより、素子温オブザーバ20は、素子温度 T_{02} 及びヒータ温度 T_{ht} の推定値を逐次算出する。尚、素子温度 T_{02} の推定値、ヒータ温度 T_{ht} の推定値は、それぞれ本発明における素子温度データ、ヒータ温度データに相当するものである。

【0130】

次に前記ヒータコントローラ22について説明する。ヒータコントローラ22は、基本的には、最適予見制御アルゴリズムによりヒータ13に対する制御入力(操作量)としてのデューティDUTを逐次生成し、そのデューティDUTでヒータ13への供給電力を制御するものである。

【0131】

この場合、本実施形態では、素子温度 T_{02} とそれに対する目標値との偏差と、その偏差の所定時間毎の変化量(これは偏差の変化速度に相当する)と、ヒータ温度 T_{ht} の所定時間毎の変化量(これはヒータ温度 T_{ht} の変化速度に相当する)とに着目し、これらをヒータコントローラ22の制御対象に係わる状態量として、該制御対象のモデル式を導入している。そして、ヒータコントローラ22のアルゴリズム(最適予見制御アルゴリズム)は以下に説明するように構築されている。尚、本実施形態では、以下に説明する最適予見制御アルゴリズムにより生成

するデューティ（制御入力）は、より正確に言えば、バッテリー電圧VBが前記式（10-2）に示した基準値NVBに一定に維持されているとした場合に素子温度 T_{02} を目標値に制御するために要求されるデューティである。そこで、以下に説明する最適予見制御アルゴリズムにより生成するデューティを基本デューティSDUTもしくは基本制御入力SDUTと称する。

【0132】

まず、制御対象のモデル式について説明する。素子温度 T_{02} 及びヒータ温度 T_{ht} の所定時間毎の変化量 ΔT_{02} 、 ΔT_{ht} に着目すると、これらの変化量 ΔT_{02} 、 ΔT_{ht} は、それぞれ素子温オブザーバ20に係わる前記モデル式（10-1）、（10-2）に基づいて、次式（11-1）、（11-2）式により与えられる。ここで、式（11-2）は、式（10-2）において $VB(k)=NVB$ とし、また、DUTをSDUTで置き換えた式から導出されている。また、式（11-1）、（11-2）を導出するにあたっては、少なくともヒータコントローラ22の処理の1サイクルタイム内では、素子部10の内部の温度 T_A' は一定に維持されて変化しない、すなわち、 $T_A'(k+1)=T_A'(k)$ としている。

【0133】

【数11】

$$\begin{aligned}\Delta T_{02}(k+1) &= \Delta T_{02}(k) + A_x \cdot dt \cdot (\Delta T_{gd}(k) - \Delta T_{02}(k)) \\ &\quad + B_x \cdot dt \cdot (\Delta T_{ht}(k) - \Delta T_{02}(k)) - E_x \cdot dt \cdot \Delta T_{02}(k) \\ &= (1 - A_x \cdot dt - B_x \cdot dt - E_x \cdot dt) \cdot \Delta T_{02}(k) \\ &\quad + A_x \cdot dt \cdot \Delta T_{gd}(k) + B_x \cdot dt \cdot \Delta T_{ht}(k) \\ &\quad \dots\dots(11-1)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta T_{ht}(k+1) &= \Delta T_{ht}(k) - C_x \cdot dt \cdot (\Delta T_{ht}(k) - \Delta T_{02}(k)) \\ &\quad - F_x \cdot dt \cdot \Delta T_{ht}(k) + D_x \cdot dt \cdot \Delta SDUT(k) \\ &= (1 - C_x \cdot dt - F_x \cdot dt) \cdot \Delta T_{ht}(k) + C_x \cdot dt \cdot \Delta T_{02}(k) \\ &\quad + D_x \cdot dt \cdot \Delta SDUT(k) \quad \dots\dots(11-2)\end{aligned}$$

【0134】

尚、これらの式（11-1）、（11-2）において、 $\Delta T_{02}(k)=T_{02}(k+1)-T_{02}(k)$ 、 $\Delta T_{ht}(k)=T_{ht}(k+1)-T_{ht}(k)$ 、 $\Delta T_{gd}(k)=T_{gd}(k+1)-T_{gd}(k)$ 、 $\Delta SDUT(k)=SDUT(k+1)-SDUT(k)$ である。

【0135】

次に、素子温度 T_{02} の目標値（目標温度）を R とし、それらの間の偏差 e （所定のサイクルタイム毎の偏差。以下、素子温偏差 e という）を次式（12）により定義する。

【0136】

【数12】

$$e(k) = T_{02}(k) - R(k) \quad \cdots \cdots (12)$$

【0137】

このとき、この素子温偏差 e のサイクルタイム毎の変化量 Δe （以下、素子温偏差変化量 Δe という）は、前記式（11-1）、（12）に基づいて、次式（13）により与えられる。

【0138】

【数13】

$$\begin{aligned} \Delta e(k+1) &= \Delta T_{02}(k+1) - \Delta R(k+1) \\ &= (1 - A_x \cdot dt - B_x \cdot dt - E_x \cdot dt) \cdot \Delta e(k) + A_x \cdot dt \cdot \Delta T_{gd}(k) \\ &\quad + B_x \cdot dt \cdot \Delta T_{ht}(k) - \Delta R(k+1) + (1 - A_x \cdot dt - B_x \cdot dt - E_x \cdot dt) \cdot \Delta R(k) \\ &\quad \cdots \cdots (13) \end{aligned}$$

【0139】

尚、式（13）において、 $\Delta e(k) = e(k+1) - e(k)$ 、 $\Delta R(k) = R(k+1) - R(k)$ である。また、この式（13）の導出過程においては、 $\Delta T_{02} = \Delta e(k) + \Delta R(k)$ という関係式（これは式（12）に基づく）が用いられている。

【0140】

さらに、前記式（11-2）に、 $\Delta T_{02} = \Delta e(k) + \Delta R(k)$ という関係式を適用して整理すると、次式（14）が得られる。

【0141】

【数14】

$$\begin{aligned} \Delta T_{ht}(k+1) &= (1 - C_x \cdot dt - F_x \cdot dt) \cdot \Delta T_{ht}(k) + C_x \cdot dt \cdot \Delta e(k) \\ &\quad + D_x \cdot dt \cdot \Delta SDUT(k) + C_x \cdot dt \cdot \Delta R(k) \quad \cdots \cdots (14) \end{aligned}$$

【0142】

ここで、状態量ベクトル $X0(k) = (e(k), \Delta e(k), \Delta Tht(k))^T$ を導入すると (T は転置を意味する)、前記式 (14), (15) と、 $e(k+1) = e(k) + \Delta e(k)$ という関係式とから、次式 (15) が得られる。

【0143】

【数15】

$$X0(k+1) = \Phi \cdot X0(k) + G \cdot \Delta SDUT(k) + Gd \cdot \Delta Tgd(k) + Gr \cdot R0(k+1) \quad \dots\dots(15)$$

但し、 $X0(k) = (e(k), \Delta e(k), \Delta Tht(k))^T$

$R0(k+1) = (\Delta R(k+1), \Delta R(k))^T$

$G = (0, 0, Dx \cdot dt)^T$

$Gd = (0, Ax \cdot dt, 0)^T$

$$\Phi = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 - Ax \cdot dt - Bx \cdot dt - Ex \cdot dt & Bx \cdot dt \\ 0 & Cx \cdot dt & 1 - Cx \cdot dt - Fx \cdot dt \end{bmatrix}$$

$$Gr = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ -1 & 1 - Ax \cdot dt - Bx \cdot dt - Ex \cdot dt \\ 0 & Cx \cdot dt \end{bmatrix}$$

【0144】

尚、式 (15) 中の $R0$ 、 G 、 Gd は、それぞれ同式 (15) の但し書きで定義されたベクトルであり、 Φ 、 Gr はそれぞれ同式 (15) の但し書きで定義された行列である。

【0145】

この式 (15) が、ヒータコントローラ 22 の制御処理に係わる制御対象のモデルの基本式である。

【0146】

ところで、上述の説明は、ヒータコントローラ 22 による制御処理の周期を前記排気温オブザーバ 19 や素子温オブザーバ 20 の演算処理の周期 dt と同一として行っている。このため式 (15) のベクトル G 、 Gd 並びに行列 Φ 、 Gr では、 dt が用いられている。この場合、排気温オブザーバ 19 や素子温オブザーバ 2

0 の演算処理は、温度推定の精度を高めるために、比較的早い周期（例えば 2 0 ～ 5 0 msec の周期）で行うことが望ましい。しかるに、ヒータコントローラ 2 2 の制御処理に関しては、制御入力（デューティ DUT）に対する素子温度の変化の応答速度が比較的遅い（周波数換算で数 Hz 程度）ため、該制御処理の周期は、排気温オブザーバ 1 9 や素子温オブザーバ 2 0 の演算処理の周期 dt よりも長くてよい。また、後述する本実施形態の最適予見制御では、素子温度 T_{02} の目標値 R の未来値を一定時間分、記憶保持しておく必要があるため、ヒータコントローラ 2 2 の制御処理の周期が短いと、目標値 R に対するメモリの記憶容量が大きくなる。

【 0 1 4 7 】

そこで、本実施形態では、ヒータコントローラ 2 2 の制御処理の周期（サイクルタイム）は、排気温オブザーバ 1 9 や素子温オブザーバ 2 0 の演算処理の周期 dt よりも長い値 dte （例えば 3 0 0 ～ 5 0 0 msec）に設定している。

【 0 1 4 8 】

このため、本実施形態では、ヒータコントローラ 2 2 の制御対象のモデル式は、ヒータコントローラ 2 2 の制御処理の周期 dte を用いて、前記式（1 5）から次式（1 6）に書き改められる。

【 0 1 4 9 】

【数 1 6】

$$X0(n+1) = \Phi \cdot X0(n) + G \cdot \Delta SDUT(n) + Gd \cdot \Delta Tgd(n) + Gr \cdot R0(n+1) \quad \dots\dots(16)$$

$$\text{但し、 } X0(n) = (e(n), \Delta e(n), \Delta Tht(n))^T$$

$$R0(n+1) = (\Delta R(n+1), \Delta R(n))^T$$

$$G = (0, 0, Dx \cdot dtc)^T$$

$$Gd = (0, Ax \cdot dtc, 0)^T$$

$$\Phi = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 - Ax \cdot dtc - Bx \cdot dtc - Ex \cdot dtc & Bx \cdot dtc \\ 0 & Cx \cdot dtc & 1 - Cx \cdot dtc - Fx \cdot dtc \end{bmatrix}$$

$$Gr = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ -1 & 1 - Ax \cdot dtc - Bx \cdot dtc - Ex \cdot dtc \\ 0 & Cx \cdot dtc \end{bmatrix}$$

【 0 1 5 0】

この式 (16) がヒータコントローラ 22 の制御処理のアルゴリズムで実際に用いる制御対象のモデル式である。ここで、この式 (16) 中の n はヒータコントローラ 22 の制御処理の周期 dtc の番数を示すものである。

【 0 1 5 1】

このモデル式を用いてヒータコントローラ 22 の制御処理のアルゴリズム (最適予見制御のアルゴリズム) は次のように構築されている。前記式 (16) のモデル式に対して、素子温度 T_{02} の目標値 R が Mr ステップ後 (ヒータコントローラ 22 の制御処理の周期 dtc の Mr 倍の時間後) の未来まで設定されており、また、外乱入力となる排ガス温度 Tgd が Md ステップ後 (ヒータコントローラ 22 の制御処理の周期 dtc の Md 倍の時間後) の未来まで判っているとする。尚、以下の説明では、 Mr を目標値予見時間、 Md を排ガス温度予見時間と称する。これらの予見時間 Mr , Md は、ヒータコントローラ 22 の制御処理の 1 周期 dtc を単位として表した整数値である。

【 0 1 5 2】

このとき、次式 (17) の評価関数 $J0$ の値を最小化するような制御入力 $\Delta SDUT$ (T (モデル式 (16) における制御入力) を生成するコントローラが最適予見サ

ーボコントローラとなる。

【 0 1 5 3 】

【数 1 7】

$$J_0 = \sum_{n=-M+1}^{\infty} [X_0^T(n) \cdot Q_0 \cdot X_0(n) + \Delta SDUT^T(n) \cdot H_0 \cdot \Delta SDUT(n)] \cdots \cdots (17)$$

【 0 1 5 4 】

ここで、式 (17) における M は、目標値予見時間 Mr、排ガス温度予見時間 Md のうちのいずれか大きい方の値、すなわち、 $M = \max (Mr, Md)$ である。また、 Q_0 、 H_0 は、それぞれ状態量ベクトル X_0 の収束性、制御入力 $\Delta SDUT$ のパワー (大きさ) を調整するための重み行列である。この場合、 X_0 は 3 次のベクトルであるので、 Q_0 は 3 行 3 列の対角行列である。また、 $\Delta SDUT$ はスカラーであるので、 H_0 もスカラーである。尚、本実施形態では、ヒータ 13 による電力消費を少なくするために、 Q_0 は例えば単位行列 (全ての対角成分が「1」である対角行列) に設定する一方、 H_0 は行列 Q_0 の対角成分に比して大きな値 (例えば 1000) に設定されている。また、前記目標値予見時間 Mr 及び排ガス温度予見時間 Md に関しては、本実施形態では、ヒータコントローラ 22 の制御処理の周期を 300 ~ 500 msec として、Mr は、例えば 20 に設定され、Md は例えば 10 に設定されている。

【 0 1 5 5 】

前記式 (17) の評価関数の値を最小化する制御入力 $\Delta SDUT$ は、次式 (18) によって与えられる。この場合、本実施形態では、排ガス温度 Tgd に関しては、その Tgd が Md ステップ後の未来まで現在値に維持されるとする。

【 0 1 5 6 】

【数 1 8】

$$\Delta SDUT(n) = F_0 \cdot X_0(n) + \sum_{i=1}^{Mr} [F_r(i) \cdot R_0(n+i)] + F_{dt} \cdot \Delta Tgd(n) \cdots \cdots (18)$$

【 0 1 5 7 】

この式(18)の右辺第1項の F_0 は3次の行ベクトル(F_{s0} , F_{e0} , F_{x0})、右辺第2項(Σ の項)の $Fr_0(i)$ ($i=1, 2, \dots, Mr$)はそれぞれ2次の行ベクトル($Fr_{01}(i)$, $Fr_{02}(i)$)、右辺第3項の F_{dt} はスカラーであり、それぞれ、次式(19-1)～(19-3)により与えられる。

【0158】

【数19】

$$F_0 \equiv (F_{s0}, F_{e0}, F_{x0}) \\ = -[H_0 + G^T \cdot P \cdot G]^{-1} \cdot G^T \cdot P \cdot \Phi \quad \dots\dots(19-1)$$

$$Fr_0(i) \equiv (Fr_{01}(i), Fr_{02}(i)) \quad (\text{但し、} i=1, 2, \dots, Mr) \\ = -[H_0 + G^T \cdot P \cdot G]^{-1} \cdot G^T \cdot (\xi^T)^{i-1} \cdot P \cdot G_r \quad \dots\dots(19-2)$$

$$F_{dt} = \sum_{i=0}^{Md} [-[H_0 + G^T \cdot P \cdot G]^{-1} \cdot G^T \cdot (\xi^T)^i \cdot P \cdot G_d] \quad \dots\dots(19-3)$$

【0159】

これらの式(19-1)～(19-3)中の P は次式(20-1)のリカッチの方程式を満たす行列(この場合3行3列の行列)であり、 ξ は次式(20-2)により与えられる行列(この場合3行3列の行列)である。

【0160】

【数20】

$$P = Q_0 + \Phi^T \cdot P \cdot \Phi \\ - \Phi \cdot P \cdot G \cdot [H_0 + G^T \cdot P \cdot G]^{-1} \cdot G^T \cdot P \cdot \Phi \quad \dots\dots(20-1)$$

$$\xi = \Phi + G \cdot F_0 \quad \dots\dots(20-2)$$

【0161】

尚、式(19-1)～(19-3)並びに式(20-1)、(20-2)中の G , G_r , G_d , Φ は前記式(16)の但し書きで定義されたものである。また、 H_0 , Q_0 は前記式(17)の評価関数 J_0 の重み行列(但し、この場合 H_0 はスカラー)である。

【0162】

ここで、前記式(18)の右辺第2項(Σ の項)をFr0、R0の成分(前記式(19-2)並びに式(16)の但し書きを参照)を用いて書き直し、それをさらに整理すると、次式(21)が得られる。

【0163】

【数21】

$$\sum_{i=1}^{Mr} [Fr0(i) \cdot R0(n+i)] = \sum_{i=0}^{Mr} [Fr(i) \cdot \Delta R(n+i)] \cdots \cdots (21)$$

但し、

$$Fr(i) = \begin{cases} Fr02(1) & : i=0 \\ Fr01(i) + Fr02(i+1) & : i=1, 2, \dots, Mr-1 \\ Fr01(Mr) & : i=Mr \end{cases}$$

【0164】

この式(21)を式(18)に代入すると共に、式(18)の右辺第1項をF0、X0の成分(前記式(19-1)並びに式(16)の但し書きを参照)を用いて書き直すことにより、前記式(18)は、次式(22)により表される。

【0165】

【数22】

$$\begin{aligned} \Delta SDUT(n) = & Fs0 \cdot e(n) + Fe0 \cdot \Delta e(n) + Fx0 \cdot \Delta Tht(n) \\ & + \sum_{i=0}^{Mr} [Fr(i) \cdot \Delta R(n+i)] + Fdt \cdot \Delta Tgd(n) \cdots \cdots (22) \end{aligned}$$

【0166】

このとき、ヒータコントローラ22が生成すべき基本制御入力SDUT(n)は、その初期値SDUT(0)に $\Delta SDUT(1)$ 、 $\Delta SDUT(2)$ 、 \cdots 、 $\Delta SDUT(n)$ を累積加算したものであるから、上記式(22)により、次式(23)が得られる。

【0167】

【数 2 3】

$$\begin{aligned}
 SDUT(n) = & Fs0 \cdot \sum_{j=1}^n e(j) + Fe0 \cdot e(n) + Fx0 \cdot Tht(n) \\
 & + \sum_{i=0}^{Mr} [Fr(i) \cdot R(n+i)] + Fdt \cdot Tgd(n) \\
 & - Fe0 \cdot e(0) - Fx0 \cdot Tht(0) \\
 & - \sum_{i=0}^{Mr} [Fr(i) \cdot R(0+i)] - Fdt \cdot Tgd(0) + SDUT(0) \\
 & \dots\dots(23)
 \end{aligned}$$

【0 1 6 8】

そして、この式(23)の初期値項、すなわち、式(23)の第6項($Fe0 \cdot e(0)$ の項)～第10項($SDUT(0)$ の項)を全て「0」とすることで、ヒータコントローラ22に実際に生成させる基本制御入力 $SDUT(n)$ を算出するための式が次式(24)の通り得られる。

【0 1 6 9】

【数 2 4】

$$\begin{aligned}
 SDUT(n) = & Fs0 \cdot \sum_{j=1}^n e(j) + Fe0 \cdot e(n) + Fx0 \cdot Tht(n) \\
 & + \sum_{i=0}^{Mr} [Fr(i) \cdot R(n+i)] + Fdt \cdot Tgd(n) \quad \dots\dots(24)
 \end{aligned}$$

【0 1 7 0】

この式(24)が、ヒータコントローラ22によりヒータ13を制御するための基本制御入力 $SDUT(n)$ (基本デューティ)を最適予見制御のアルゴリズムにより逐次算出するための演算式である。この式(24)の第1から第3項まで($\sum e(j)$ を含む項～ $Tht(n)$ を含む項まで)は、素子温偏差 e やヒータ温度 Tht に応じた制御入力成分(フィードバック成分。以下、この成分を最適F/B成分 U_{opfb} と称する)である。また、式(24)の右辺第4項($\sum Fr(i) \cdot R(n+i)$ の項)は目標値 R に応じた制御入力成分(フィードフォワード成分。以下、この成分を最適目標値F/F成分 U_{opfr} と称する)であり、第5項($Tgd(n)$ を含む項)は排ガス温度 Tgd (これは制御対象に対して外乱として機能する)に応じた制御入力成

分（フィードフォワード成分。以下、この成分を最適外乱F/F成分 U_{opfd} を称する）である。

【0171】

ここで、式（24）により求められる基本制御入力SDUT(n)（基本デューティ）は、前述したように、バッテリー電圧VBが基準値SVBに一定に維持されている場合に、素子温度 T_{02} を目標値Rに制御するために要求される制御入力（デューティ）である。このため、ヒータコントローラ22は、その制御処理のサイクルタイム（周期）毎に式（24）により算出した基本制御入力SDUT(n)を、さらに、次式（25）に示す如く、バッテリー電圧VBの現在値VB(n)の2乗値と、前記基準値NVBの2乗値との比 $NVB^2/VB(n)^2$ によって補正することにより、バッテリー電圧VBによらずに素子温度 T_{02} を目標値Rに制御し得る制御入力DUT(n)を逐次算出する。

【0172】

【数25】

$$DUT(n) = \frac{NVB^2}{VB(n)^2} \cdot SDUT(n) \quad \dots\dots (25)$$

【0173】

そして、ヒータコントローラ22は、その制御入力DUT(n)、すなわちデューティDUT(n)を所定の範囲内（ $0\% \leq DUT(n) \leq 100\%$ ）に制限した上で、そのデューティDUT(n)のパルス電圧を図示しないヒータ通電回路に付与することにより、ヒータ13への供給電力を調整する。

【0174】

上述のように式（24）及び式（25）により制御入力としてのデューティDUTを求めるヒータコントローラ22は、それをブロック線図で表現すると、図7に示すようになる。

【0175】

尚、本実施形態では、Mdステップ後の未来まで排ガス温度 T_{gd} が現在値に維持されとしたため、式（24）の右辺第5項の F_{dt} がスカラーとなるが、未来の各ステップでの T_{gd} を検出もしくは推定可能な場合には、それらの T_{gd} を使用

して制御入力DUTを求めるようにすることもできる。この場合には、 F_{dt} は式(19-3)の{ }内の要素(M_d+1 個の要素)からなるベクトルとなる。より具体的には、現在から M_d ステップ後までの排ガス温度 T_{gd} の時系列データを $T_{gd}(n)$, $T_{gd}(n+1)$, ..., $T_{gd}(n+M_d)$ とおいたとき、式(24)の右辺第5項は、式(19-3)の{ }内の要素(M_d+1 個の要素)からなるベクトルと、排ガス温度 T_{gd} の時系列データを $T_{gd}(n)$, $T_{gd}(n+1)$, ..., $T_{gd}(n+M_d)$ を要素とするベクトルとの内積(スカラー積)で表される。そして、この内積は、 $T_{gd}(n)=T_{gd}(n+1)=\dots=T_{gd}(n+M_d)$ としたときに、式(24)の右辺第5項に一致するものとなる。

【0176】

また、前記式(24)により基本制御入力SDUT(n)を求めるために必要な F_{s0} 、 F_{e0} 、 F_{x0} は、前記式(19-1)に従ってあらかじめ算出された値が用いられる。また、 $F_r(i)$ ($i=0, 1, \dots, M_r$)は、前記式(21)及び式(19-2)に従ってあらかじめ算出された値が用いられる。また、 F_{dt} は前記式(19-3)に従ってあらかじめ算出された値が用いられる。尚、これらの係数 F_{s0} 、 F_{e0} 、 F_{x0} 、 $F_r(i)$ 、 F_{dt} の値は必ずしも定義式通りの値を用いる必要がなく、シミュレーションや実験を通じて適宜調整するようにしてもよい。さらには、素子温度やヒータ温度等に応じて変更するようにしてもよい。

【0177】

また、式(24)の演算に必要なヒータ温度 T_{ht} 及び排ガス温度 T_{gd} は、それぞれ、前記素子温オブザーバ20により求められたヒータ温度 T_{ht} の推定値の最新値、前記排気温オブザーバ21により求められた排ガス温度 T_{gd} の推定値の最新値が用いられる。

【0178】

さらに、式(24)の演算に必要な素子温偏差 e は、前記素子温オブザーバ20により求められた素子温度 T_{02} の推定値の最新値と、前記目標値設定手段21により前記目標値予見時間 M_r 前のサイクルタイムで設定された目標値 R とから算出される。

【0179】

ここで、前記目標値設定手段 2 1 は、基本的には、 O_2 センサ 8 の出力特性が安定に良好なものとなる 750°C 以上の温度（本実施形態では例えば 800°C ）を、ヒータコントローラ 2 2 の処理のサイクルタイム（周期）と同じサイクルタイムで素子部 1 0 の温度の目標値 R として設定するようにしている。この場合、該目標値設定手段 2 1 は、ヒータコントローラ 2 2 による処理を前述の最適予見制御のアルゴリズムにより行うために、各サイクルタイムで設定する目標値 R を、現在のサイクルタイムから前記目標値予見時間 M_r 後の目標値 $R(n+M_r)$ として設定し、それを該目標値予見時間 M_r の時間分、時系列的に記憶保持するようにしている。つまり、 M_r+1 個の目標値 $R(n)$, $R(n+1)$, ..., $R(n+M_r)$ が逐次更新されつつ記憶保持される。そして、式 (2 4) の演算に必要な素子温偏差 e を求めるために使用する目標値 R は、目標値予見時間 M_r 前のサイクルタイムで目標値設定手段 2 1 が上記のように設定して記憶保持した値 $R(n)$ である。また、上記のように記憶保持された目標値 $R(n)$, $R(n+1)$, ..., $R(n+M_r)$ が、前記式 (2 4) の第 4 項 ($R(n+i)$ を含む Σ の項) の値を求めるために使用される。

【0 1 8 0】

尚、エンジン 1 の運転開始時から、素子温度 T_{O_2} の目標値 R を 800°C のような高温に設定すると、エンジン 1 の運転開始時に O_2 センサ 8 の素子部 1 0 に水分等が付着していたような場合には、該素子部 1 0 が急激な加熱に伴う応力で損傷する虞れがある。このため、本実施形態では、目標値設定手段 2 1 は、エンジン 1 の運転開始後、所定時間（例えば 1 5 秒）が経過するまでは、素子温度 T_{O_2} の目標値 R を 750°C よりも低い温度、例えば 600°C に設定するようにしている。また、本実施形態では、エンジン 1 の運転開始後、所定時間が経過した後であっても、大気温度 T_A が低い場合（例えば $T_A < 0^{\circ}\text{C}$ ）には、ヒータ 1 3 の過熱を避けるために、素子温度 T_{O_2} の目標値 R を、通常的な目標値 (800°C) よりも若干低い温度 ($750^{\circ}\text{C} \leq R < 800^{\circ}\text{C}$) に設定するようにしている。

【0 1 8 1】

次に、本実施形態の装置、特に前記センサ温度制御手段 1 2 の全体的な処理を説明する。

【0 1 8 2】

まず、エンジン 1 の運転開始時（始動時）において、センサ温度制御手段 1 2 は、前記排ガス温度 T_{exg} 、 T_{ga} 、 T_{gb} 、 T_{gc} 、 T_{gd} 、排気管温度 T_{wa} 、 T_{wb} 、 T_{wd} 、触媒温度 T_{wc} 、素子温度 T_{O_2} 、及びヒータ温度 T_{ht} のそれぞれの推定値の初期値 $T_{\text{exg}}(0)$ 、 $T_{\text{ga}}(0)$ 、 $T_{\text{gb}}(0)$ 、 $T_{\text{gc}}(0)$ 、 $T_{\text{gd}}(0)$ 、 $T_{\text{wa}}(0)$ 、 $T_{\text{wb}}(0)$ 、 $T_{\text{wd}}(0)$ 、 $T_{\text{O}_2}(0)$ 、 $T_{\text{ht}}(0)$ を次のように設定する。すなわち、本実施形態では、エンジン 1 の運転停止中にその停止時間を計時するようにしており、センサ温度制御手段 1 2 は、エンジン 1 の始動時にその直前の停止時間が所定時間（例えば 2 時間）を超えているか否かを判断する。そして、停止時間 > 所定時間であるときには、排気通路 3 の内部やその管壁の温度がほぼ大気温度と同等になっていると考えられるので、センサ温度制御手段 1 2 は、上記初期値 $T_{\text{exg}}(0)$ 、 $T_{\text{ga}}(0)$ 、 $T_{\text{gb}}(0)$ 、 $T_{\text{gc}}(0)$ 、 $T_{\text{gd}}(0)$ 、 $T_{\text{wa}}(0)$ 、 $T_{\text{wb}}(0)$ 、 $T_{\text{wd}}(0)$ 、 $T_{\text{O}_2}(0)$ 、 $T_{\text{ht}}(0)$ を、エンジン 1 の始動時における大気温度 T_{A} の検出値に設定する。また、停止時間 \leq 所定時間である場合には、排気通路 3 の内部やその管壁の温度は、前回のエンジン 1 の運転停止後の余熱によって、大気温度よりもエンジン 1 の機関温度 T_{W} （冷却水温）に近い温度になっていると考えられるので、センサ温度制御手段 1 2 は、上記初期値 $T_{\text{exg}}(0)$ 、 $T_{\text{ga}}(0)$ 、 $T_{\text{gb}}(0)$ 、 $T_{\text{gc}}(0)$ 、 $T_{\text{gd}}(0)$ 、 $T_{\text{wa}}(0)$ 、 $T_{\text{wb}}(0)$ 、 $T_{\text{wd}}(0)$ 、 $T_{\text{O}_2}(0)$ 、 $T_{\text{ht}}(0)$ を、エンジン 1 の始動時における機関温度 T_{W} の検出値に設定する。これにより、それらの初期値が実際の温度に近い温度に設定される。

【0183】

そして、エンジン 1 が始動され、その運転が開始すると、センサ温度制御手段 1 2 は、図 8 のフローチャートに示すメインルーチン処理を所定のサイクルタイムで実行する。尚、このメインルーチンの実行周期は、前記排気温オブザーバ 1 9、素子温オブザーバ 2 0 の処理の周期 dt よりも短く、従って、目標値設定手段 2 1 及びヒータコントローラ 2 2 の処理の周期 d_{tc} よりも短い。

【0184】

センサ温度制御手段 1 2 は、まず、エンジン 1 の回転数 NE 、吸気圧 P_{B} 、大気温度 T_{A} 、及びバッテリー電圧 V_{B} の検出値を取得し（STEP 1）、さらに前記目標値設定手段 2 1 及びヒータコントローラ 2 2 の処理の 1 周期分の時間 d_{tc} をカウ

ントするためのカウントダウンタイマCOPCの値を判断する（STEP 2）。このカウントダウンタイマCOPCの値は、エンジン1の始動時に「0」に初期化されている。

【0185】

そして、センサ温度制御手段12は、COPC=0である場合には、目標値設定手段21及びヒータコントローラ22の制御処理の周期dtcに相当するタイマ設定時間TM1をCOPCの値として新たに設定した後（STEP 3）、O₂センサ8の素子温度T₀₂の目標値Rを設定する処理と、ヒータ13のデューティDUTを算出処理とを、それぞれ前記目標値設定手段21及びヒータコントローラ22により順次実行する（STEP 4, 5）。また、STEP 2でCOPC≠0である場合には、センサ温度制御手段12は、STEP 5でCOPCの値をカウントダウンし、STEP 4, 5の処理を省略する。従って、STEP 4, 5の処理は、上記タイマ設定時間TM1により規定される周期dtcで実行されることとなる。

【0186】

上記STEP 4, 5の処理は、より具体的には次のように行われる。まず、目標値設定手段21によるSTEP 4の処理は、図9のフローチャートに示すように実行される。

【0187】

目標値設定手段21によるSTEP 4の処理では、まず、エンジン1の始動後の経過時間を表すパラメータTSHの値があらかじめ定めた所定値XTM（例えば15秒）と比較される（STEP 4-1）。このとき、 $TSH \leq XTM$ である場合、すなわち、エンジン1の運転開始直後の状態である場合には、目標値設定手段21は、前述のようにO₂センサ8の素子部10の損傷を防止するために、素子温度T₀₂の目標値Rを低温側の温度（例えば600℃）に設定する（STEP 4-2）。尚、ここで設定する目標値Rはより詳しくは、現在から目標値予見時間Mr後の目標値R(n+Mr)である。

【0188】

また、STEP 4-1で $TSH > XTM$ である場合には、目標値設定手段21は、大気温度T_Aの現在の検出値（図8のSTEP 1で取得されたもの）から、あらか

じめ定められたデータテーブルに基づいて素子温度 T_{02} の目標値 R を設定する (STEP 4-3)。ここで設定される目標値 R は、大気温度 T_A が常温程度 (例えば $T_A \geq 0^\circ\text{C}$) である場合には、基本的には 750°C 以上の所定値 (本実施形態では 800°C) である。但し、寒冷地でのエンジン1の運転時等、大気温度 T_A が低いとき (例えば $T_A < 0^\circ\text{C}$) には、素子温度 T_{02} の目標値 R が 800°C のような高温であると、ヒータ13の温度が過剰に高温になりやすい。そして、本実施形態では、後述するヒータ13の過熱防止処理によって、ヒータ13の温度が過剰に高温になると、該ヒータ13の故障を避けるために該ヒータ13への通電は強制的に中止される。そこで、本実施形態では、STEP 4-3では、大気温度 T_A が低い場合 (例えば $T_A < 0^\circ\text{C}$) には、素子温度 T_{02} の目標値 R を通常の場合よりも多少低い値 (例えば $750^\circ\text{C} \leq R < 800^\circ\text{C}$ となる値) に設定するようにしている。

【0189】

尚、このSTEP 4-3で設定される目標値 R は、STEP 4-2で設定される目標値 R と同様、より詳しくは、現在から目標値予見時間 Mr 後の目標値 $R(n+Mr)$ である。

【0190】

上記のようにSTEP 4-2又は4-3で目標値 $R (= R(n+Mr))$ を新たに設定した後、目標値設定手段21は、該目標値 R を目標値予見時間 Mr の期間分、記憶保持するための $Mr+1$ 個のバッファ $RBF(0)$, $RBF(1)$, ..., $RBF(Mr)$ の値をSTEP 4-4、4-5で更新する。これにより、STEP 4の処理が終了する。

【0191】

この場合、STEP 4-4では、 Mr 個のバッファ $RBF(j)$ ($j = 0, 1, \dots, Mr-1$) に対して順番に、 $RBF(j)$ の値を $RBF(j+1)$ の現在値に更新する処理が実行される。尚、バッファ $RBF(0)$ に今まで保持されていた値は消去される。また、STEP 4-5では、前記STEP 4-2又は4-3で新たに設定された目標値 R に、バッファ $RBF(Mr)$ の値が更新される。このように更新されるバッファ $RBF(0)$, $RBF(1)$, ..., $RBF(Mr)$ の値は、それぞれ、前記式(24)の第4項の $R(n)$

, $R(n+1)$, …… , $R(n+Mr)$ に相当するものとなる。尚、バッファ $RBF(0)$, $RBF(1)$, …… , $RBF(Mr)$ の値は、エンジン 1 の始動時に所定の値（例えば $STEP 4 - 2$ で設定する目標値）に初期化されている。

【0192】

次に、ヒータコントローラ 22 による前記 $STEP 5$ の処理は、図 10 のフローチャートに示すように実行される。この $STEP 5$ の処理では、まず、前記素子温度 T_{02} の推定値の現在値 $T_{02}(n)$ と、前記バッファ $RBF(0)$ ($= R(n)$)、すなわち、目標値予見時間 Mr 前に目標値設定手段 21 により設定された目標値 R と、からそれらの間の素子温偏差 $e(n) = T_{02}(n) - RBF(0)$ を算出する ($STEP 5 - 1$)。

【0193】

次いで、ヒータコントローラ 22 は、フラグ F/A , F/B の値を判断する ($STEP 5 - 2$)。ここで、フラグ F/A はデューティ DUT の後述するリミット処理において値が“0”、“1”に設定されるフラグであり、 $F/A = 1$ は、デューティ DUT があらかじめ定めた所定の上限値あるいは下限値に強制的に制限されている状態を意味し、 $F/A = 0$ はこのようなデューティ DUT の値の制限がなされていない状態 (上限値 $> DUT >$ 下限値) を意味する。また、フラグ F/B は、後述するヒータ 13 の過熱防止処理によりヒータ 13 への通電が強制的に遮断されている状態で“1”に設定されるフラグである。尚、フラグ F/A , F/B の値の初期値は、“0”である。

【0194】

$STEP 5 - 2$ の判断で、 $F/A = F/B = 0$ である場合には、ヒータコントローラ 22 は、前記式 (24) の第 1 項の $\Sigma e(j)$ の現在値に $STEP 5 - 1$ で新たに算出した偏差 $e(n)$ を加算する ($STEP 5 - 3$)。これにより、偏差 $e(n)$ がヒータコントローラ 22 の処理のサイクルタイム dtc 毎に累積加算 (積分) したものが求められる。尚、 $\Sigma e(j)$ の初期値は“0”である。

【0195】

また、 $STEP 5 - 2$ の判断で、 $F/A = 1$ 又は $F/B = 1$ である場合には、デューティ DUT の現在値が通常的な正常値でないので、ヒータコントローラ 22 は、 S

STEP 5-4 の処理を省略して次の STEP 5-4 に進み、 $\Sigma e(j)$ の値を現在値に保持する。

【0196】

次いで、ヒータコントローラ 22 は、STEP 5-1 で求めた素子温偏差 $e(n)$ の現在値（最新値）やその累積加算値 $\Sigma e(j)$ の現在値等を用いて、前記式（24）及び式（25）の演算を行って、ヒータ 13 に対する制御入力である DUT の今回値 $DUT(n)$ を算出する（STEP 5-4）。すなわち、STEP 5-1 で求めた偏差 $e(n)$ の現在値と、その累積加算値 $\Sigma e(j)$ の現在値と、ヒータ温度 T_{ht} の推定値の現在値 $T_{ht}(n)$ と、前記バッファ $RBF(0)$, $RBF(1)$, …… , $RBF(Mr)$ の現在値（ $= R(n)$, $R(n+1)$, …… , $R(n+Mr)$ ）と、排ガス温度 T_{gd} (O_2 センサ 8 の配置箇所での排ガス温度) の推定値の現在値 $T_{gd}(n)$ と、あらかじめ定められた係数 $Fs0$, $Fe0$, $Fx0$, $Fr(i)$ ($i = 0, 1, \dots, Mr$), Fdt の値とから、前記式（24）により、基本デューティ $SDUT(n)$ を算出する。さらに、この基本デューティ $SDUT(n)$ を、バッテリー電圧 VB の現在値（図 8 の STEP 1 で取得した最新値）を用いて、式（25）により補正することによりデューティ $DUT(n)$ を算出する。尚、エンジン 1 の始動後、最初に STEP 5-4 の処理を行う際（前記排気温オブザーバ 19 及び素子温オブザーバ 20 の処理が未だ実行されていない段階）に必用となるヒータ温度 T_{ht} の推定値の初期値 $T_{ht}(0)$ と排ガス温度 T_{gd} の推定値の初期値 $T_{gd}(0)$ とは、前述の通り、エンジン 1 の運転開始時（始動時）の大気温度 T_A あるいは機関温度 TW に設定されている。そして、それらの初期値 $T_{ht}(0)$, $T_{gd}(0)$ が式（24）の演算に用いられる。また、両オブザーバ 19, 20 の処理が実行された後には、それらのオブザーバ 19, 20 がそれぞれの処理で求めた推定値の最新値が式（24）の演算に用いられる。

【0197】

次いで、ヒータコントローラ 22 は、STEP 5-4 で算出したデューティ $DUT(n)$ のリミット処理を STEP 5-5 ~ 5-11 で実行する。すなわち、デューティ $DUT(n)$ が所定の下限值（例えば 0 %）よりも小さいか否かを判断し（STEP 5-5）、 $DUT(n) < \text{下限値}$ である場合には、 $DUT(n)$ の値を強制的にその“下限値”に設定し直す（STEP 5-6）。そして、このとき、前記フラグ F/A （S

STEP 5-2 で使用するフラグ) の値を “1” に設定する (STEP 5-7)。

【0198】

また、 $DUT(n) \geq$ 下限値である場合には、さらに、デューティ $DUT(n)$ が所定の上限値 (例えば 100%) よりも大きいかな否かを判断する (STEP 5-8)。このとき $DUT(n) >$ 上限値である場合には、 $DUT(n)$ の値を強制的にその “上限値” に設定し直す (STEP 5-9)。また、このとき、前記フラグ F/A の値を “1” に設定する (STEP 5-10)。尚、下限値 $\leq DUT(n) \leq$ 上限値である場合には、 $DUT(n)$ の値は維持され、前記フラグ F/A の値は “0” に設定される (STEP 5-11)。以上によりヒータコントローラ 22 による STEP 5 の処理は終了する。

【0199】

図 8 のメインルーチンの処理に戻って、センサ温度制御手段 12 は、次に、STEP 7~13 に示す処理を実行する。この処理は、ヒータ 13 の過熱防止のための処理であり、まず、STEP 7 において、ヒータ温度 T_{ht} の推定値の現在値 (最新値) があらかじめ定められた所定の上限値 T_{HTLMT} (例えば 930℃) 以上であるかな否かが判断される。この場合、本実施形態では、基本的には、 $T_{ht} \geq T_{HTLMT}$ となった場合に、ヒータ 13 の損傷等を防止するために、該ヒータ 13 への通電を強制的に遮断する。但し、外乱等の影響で、 T_{ht} の推定値の値が一時的に上記上限値 T_{HTLMT} 以上に上昇することもある。そこで、本実施形態では、 $T_{ht} \geq T_{HTLMT}$ となる状態が所定時間 (例えば 3 秒。以下、ヒータ OFF 遅延時間という) 以上、継続した場合に、ヒータ 13 の通電を遮断することとする。

【0200】

このため、前記 STEP 7 で、 $T_{ht} < T_{HTLMT}$ である場合には、センサ温度制御手段 12 は、上記ヒータ OFF 遅延時間を計時するためのカウンタダウンタイマ T_{MHTOFF} の値を上記ヒータ OFF 遅延時間に相当する所定値 T_{M2} に設定しておく (STEP 8)。そして、この場合には、ヒータ 13 の通電は遮断しないので、センサ温度制御手段 12 は、前述したフラグ F/B (図 10 の STEP 5-2 で使用するフラグ) の値を “0” に設定する (STEP 9)。

【0201】

一方、STEP 7で $T_{ht} \geq T_{HTLMT}$ である場合には、センサ温度制御手段12は、カウントダウンタイマTMHTOFFの値を“1”だけカウントダウンした後（STEP 10）、さらに、このカウントダウンタイマTMHTOFFの値が“0”になったか否か、すなわち、 $T_{ht} \geq T_{HTLMT}$ の状態のまま、前記ヒータOFF遅延時間TM2が経過したか否かを判断する（STEP 11）。

【0202】

このときTMHTOFF \neq 0である場合には、前記STEP 9でフラグF/Bの値を“0”に設定する。また、TMHTOFF=0である場合には、デューティDUTのの現在値を強制的に“0”に設定し直し（STEP 12）、さらに、フラグF/Bの値を“1”に設定する（STEP 13）。

【0203】

尚、STEP 9でフラグF/Bの値が“0”に設定された場合には、センサ温度制御手段12は、デューティDUTの現在値（前記STEP 5の処理で算出された最新値）に従ってパルス電圧を図示しないヒータ通電回路に付与し、該デューティDUTに応じた電力で該ヒータ13に通電させる。また、STEP 12でフラグF/Bの値が“1”に設定された場合には、センサ温度制御手段12は、ヒータ12の通電回路にパルス電圧を付与せず、これにより、該ヒータ13への通電を遮断する。

【0204】

上述のようにしてSTEP 7～STEP 13に係わる処理（ヒータ13の過熱防止処理）を実行した後、センサ温度制御手段12は、次に、前記排気温オブザーバ19及び素子温オブザーバ20の処理の1周期分の時間dtをカウントするためのカウントダウンタイマCOBSの値を判断する（STEP 14）。このカウントダウンタイマCOBSの値は、エンジン1の始動時に「0」に初期化されている。

【0205】

そして、センサ温度制御手段12は、COBS=0である場合には、排気温オブザーバ19及び素子温オブザーバ20の処理の周期dtに相当するタイマ設定時間TM3（これはSTEP 3のTM1よりも短い）をCOBSの値として新たに設定した後（STEP 15）、排ガス温度Tgd（O₂センサ8の配置箇所近傍の排ガス温度）

を推定する処理と、素子温度 T_{O_2} を推定する処理（ヒータ温度 T_{ht} の推定処理を含む）とをそれぞれ、排気温オブザーバ19及び素子温オブザーバ20により実行する（STEP16）。また、STEP14でCOBS \neq 0である場合には、センサ温度制御手段12は、STEP17でCOBCの値をカウントダウンし、STEP15, 16の処理を省略する。従って、STEP16の処理は、上記タイマ設定時間 $TM3$ により規定される周期 dt で実行されることとなる。以上説明した処理が図8のメインルーチンの処理である。

【0206】

上記STEP16の処理は、より具体的には、図11のフローチャートに示すように行われる。すなわち、センサ温度制御手段12は、まず、排気温オブザーバ19により、STEP16-1～STEP16-6の処理を順次実行し、 O_2 センサ8の配置箇所近傍での排ガス温度 T_{gd} の推定値を求める。STEP16-1では、エンジン1の回転数 NE 及び吸気圧 PB の現在の検出値（前記STEP1で取得された最新値）を用いて前記式（7）により流速パラメータ V_g が求められる。尚、この流速パラメータ V_g の値は、エンジン1の過回転等により前記式（7）の算出結果が“1”を越えたような場合には、強制的に $V_g=1$ に設定される。

【0207】

次いで、排気温オブザーバ19は、前記式（1）に基づいてエンジン1の排気ポート2での排ガス温度 T_{exg} の推定値を算出する（STEP16-2）。すなわち、エンジン1の回転数 NE 及び吸気圧 PB の現在の検出値から所定のマップにより基本排ガス温度 $TMAP(NE, PB)$ を求め、さらに、この $TMAP(NE, PB)$ と、排ガス温度 T_{exg} の推定値の現在値 $T_{exg}(k-1)$ （前回のサイクルタイムにおけるSTEP16-2で求められた値）と、あらかじめ定められた係数 K_{tex} の値とを用いて前記式（1）の右辺の演算を行う。これにより、排ガス温度 T_{exg} の新たな推定値 $T_{exg}(k)$ が算出される。尚、本実施形態では、エンジン1のアイドリング運転時と、フュエルカット中においては、式（1）の演算に用いる基本排ガス温度 $TMAP$ を、それぞれの運転状態に対応してあらかじめ定めた所定値に設定するようにしている。また、排ガス温度 T_{exg} の推定値は、前述のようにエンジン1の運

転開始時（始動時）に、その時に検出された大気温度 T_A 又は機関温度 TW が初期値 $T_{exg}(0)$ として設定されており、エンジン 1 の運転開始後、初めて式（1）の演算を行うときには、その初期値 $T_{exg}(0)$ が $T_{exg}(k-1)$ の値として用いられる。

【 0 2 0 8 】

次いで、排気温オブザーバ 19 は、前記式（5-1）、（5-2）に基づいて前記部分排気通路 3 a での排ガス温度 T_{ga} の推定値及び排気管温度 T_{wa} の推定値を算出する（STEP 16-3）。すなわち、排ガス温度 T_{ga} の推定値の現在値 $T_{ga}(k)$ （前回のサイクルタイムにおける STEP 16-3 で求められた最新値）と、排気管温度 T_{wa} の推定値の現在値（前回のサイクルタイムにおける STEP 16-3 で求められた最新値）と、前記 STEP 16-2 で先に算出した排ガス温度 T_{exg} の推定値の現在値と、前記 STEP 16-1 で算出した流速パラメータ V_g の現在値と、あらかじめ定められたモデル係数 A_a の値及び排気温オブザーバ 19 の処理の周期 dt の値とを用いて前記式（5-1）の右辺の演算を行うことで、排ガス温度 T_{ga} の新たな推定値 $T_{ga}(k+1)$ を求める。

【 0 2 0 9 】

さらに、排ガス温度 T_{ga} の推定値の現在値 $T_{ga}(k)$ （前回のサイクルタイムにおける STEP 16-3 で求められた最新値）と、排気管温度 T_{wa} の推定値の現在値（前回のサイクルタイムにおける STEP 16-3 で求められた最新値）と、あらかじめ定められたモデル係数 B_a 、 C_a の値及び排気温オブザーバ 19 の処理の周期 dt の値とを用いて前記式（5-2）の右辺の演算を行うことで、排気管温度 T_{wa} の新たな推定値 $T_{wa}(k+1)$ を求める。

【 0 2 1 0 】

尚、排ガス温度 T_{ga} 及び排気管温度 T_{wa} の推定値は、前述のようにエンジン 1 の運転開始時（始動時）に、その時に検出された大気温度 T_A 又は機関温度 TW がそれぞれの初期値 $T_{ga}(0)$ 、 $T_{wa}(0)$ として設定されており、エンジン 1 の運転開始後、初めて式（5-1）、（5-2）の演算を行うときには、それらの初期値 $T_{ga}(0)$ 、 $T_{wa}(0)$ がそれぞれ $T_{ga}(k-1)$ 、 $T_{wa}(k-1)$ の値として用いられる。

【 0 2 1 1 】

次いで、排気温オブザーバ 19 は、前記式（6-1）、（6-2）に基づいて

前記部分排気通路 3 b での排ガス温度 T_{gb} の推定値及び排気管温度 T_{wb} の推定値を算出する (STEP 16-4)。すなわち、排ガス温度 T_{gb} の推定値の現在値 $T_{gb}(k)$ (前回のサイクルタイムにおける STEP 16-4 で求められた最新値) と、排気管温度 T_{wb} の推定値の現在値 (前回のサイクルタイムにおける STEP 16-4 で求められた最新値) と、前記 STEP 16-3 で先に算出した排ガス温度 T_{ga} の推定値の現在値と、前記 STEP 16-1 で算出した流速パラメータ V_g の現在値と、あらかじめ定められたモデル係数 A_b の値及び排気温オブザーバ 19 の処理の周期 dt の値とを用いて前記式 (6-1) の右辺の演算を行うことで、排ガス温度 T_{gb} の新たな推定値 $T_{gb}(k+1)$ を求める。

【0212】

さらに、排ガス温度 T_{gb} の推定値の現在値 $T_{gb}(k)$ (前回のサイクルタイムにおける STEP 16-4 で求められた最新値) と、排気管温度 T_{wb} の推定値の現在値 (前回のサイクルタイムにおける STEP 16-4 で求められた最新値) と、あらかじめ定められたモデル係数 B_b , C_b の値及び排気温オブザーバ 19 の処理の周期 dt の値とを用いて前記式 (6-2) の右辺の演算を行うことで、排気管温度 T_{wb} の新たな推定値 $T_{wb}(k+1)$ を求める。

【0213】

尚、排ガス温度 T_{gb} 及び排気管温度 T_{wb} の推定値は、前述のようにエンジン 1 の運転開始時 (始動時) に、その時に検出された大気温度 T_A 又は機関温度 T_W がそれぞれの初期値 $T_{gb}(0)$, $T_{wb}(0)$ として設定されており、エンジン 1 の運転開始後、初めて式 (6-1), (6-2) の演算を行うときには、それらの初期値 $T_{gb}(0)$, $T_{wb}(0)$ がそれぞれ $T_{gb}(k-1)$, $T_{wb}(k-1)$ の値として用いられる。

【0214】

次いで、排気温オブザーバ 19 は、前記式 (8-1), (8-2) に基づいて前記部分排気通路 3 c での排ガス温度 T_{gc} の推定値及び触媒温度 T_{wc} の推定値を算出する (STEP 16-5)。すなわち、排ガス温度 T_{gc} の推定値の現在値 $T_{gc}(k)$ (前回のサイクルタイムにおける STEP 16-5 で求められた最新値) と、触媒温度 T_{wc} の推定値の現在値 (前回のサイクルタイムにおける STEP 16-5 で求められた最新値) と、前記 STEP 16-4 で先に算出した排ガス温

度 T_{gb} の推定値の現在値と、前記 $STEP 16-1$ で算出した流速パラメータ V_g の現在値と、あらかじめ定められたモデル係数 A_c の値及び排気温オブザーバ 19 の処理の周期 dt の値とを用いて前記式 (8-1) の右辺の演算を行うことで、排ガス温度 T_{gc} の新たな推定値 $T_{gc}(k+1)$ を求める。

【0215】

さらに、排ガス温度 T_{gc} の推定値の現在値 $T_{gc}(k)$ (前回のサイクルタイムにおける $STEP 16-5$ で求められた最新値) と、触媒温度 T_{wc} の推定値の現在値 (前回のサイクルタイムにおける $STEP 16-5$ で求められた最新値) と、前記 $STEP 16-1$ で算出した流速パラメータ V_g の現在値と、あらかじめ定められたモデル係数 B_c , C_c , D_c の値及び排気温オブザーバ 19 の処理の周期 dt の値とを用いて前記式 (8-2) の右辺の演算を行うことで、触媒温度 T_{wc} の新たな推定値 $T_{wc}(k+1)$ を求める。

【0216】

尚、排ガス温度 T_{gc} 及び触媒温度 T_{wc} の推定値は、前述のようにエンジン 1 の運転開始時 (始動時) に、その時に検出された大気温度 T_A 又は機関温度 TW がそれぞれの初期値 $T_{gc}(0)$, $T_{wc}(0)$ として設定されており、エンジン 1 の運転開始後、初めて式 (8-1), (8-2) の演算を行うときには、それらの初期値 $T_{gc}(0)$, $T_{wc}(0)$ がそれぞれ $T_{gc}(k-1)$, $T_{wc}(k-1)$ の値として用いられる。

【0217】

次いで、排気温オブザーバ 19 は、前記式 (9-1), (9-2) に基づいて前記部分排気通路 3d での (O_2 センサ 8 の配置箇所近傍での) 排ガス温度 T_{gd} の推定値及び排気管温度 T_{wd} の推定値を算出する ($STEP 16-6$)。すなわち、排ガス温度 T_{gd} の推定値の現在値 $T_{gd}(k)$ (前回のサイクルタイムにおける $STEP 16-6$ で求められた最新値) と、排気管温度 T_{wd} の推定値の現在値 (前回のサイクルタイムにおける $STEP 16-6$ で求められた最新値) と、前記 $STEP 16-5$ で先に算出した排ガス温度 T_{gc} の推定値の現在値と、前記 $STEP 16-1$ で算出した流速パラメータ V_g の現在値と、あらかじめ定められたモデル係数 A_d の値及び排気温オブザーバ 19 の処理の周期 dt の値とを用いて前記式 (9-1) の右辺の演算を行うことで、排ガス温度 T_{gd} の新たな推定値 T_{gd}

(k+1)を求める。

【 0 2 1 8 】

さらに、排ガス温度 T_{gd} の推定値の現在値 $T_{gd}(k)$ （前回のサイクルタイムにおけるSTEP 16-6で求められた最新値）と、排気管温度 T_{wd} の推定値の現在値（前回のサイクルタイムにおけるSTEP 16-6で求められた最新値）と、あらかじめ定められたモデル係数 B_d 、 C_d の値及び排気温オブザーバ19の処理の周期 dt の値とを用いて前記式（9-2）の右辺の演算を行うことで、排気管温度 T_{wd} の新たな推定値 $T_{wd}(k+1)$ を求める。

【 0 2 1 9 】

尚、排ガス温度 T_{gd} 及び排気管温度 T_{wd} の推定値は、前述のようにエンジン1の運転開始時（始動時）に、その時に検出された大気温度 T_A 又は機関温度 T_W がそれぞれの初期値 $T_{gd}(0)$ 、 $T_{wd}(0)$ として設定されており、エンジン1の運転開始後、初めて式（9-1）、（9-2）の演算を行うときには、それらの初期値 $T_{gd}(0)$ 、 $T_{wd}(0)$ がそれぞれ $T_{gd}(k-1)$ 、 $T_{wd}(k-1)$ の値として用いられる。

【 0 2 2 0 】

次に、センサ温度制御手段12は、素子温オブザーバ20により、STEP 16-7の処理を実行し、 O_2 センサ8の素子温度 T_{O2} 及びヒータ温度 T_{ht} の推定値を前記式（10-1）、（10-2）に基づいて求める。すなわち、素子温度 T_{O2} の推定値の現在値 $T_{O2}(k)$ （前回のサイクルタイムにおけるSTEP 16-7で求められた最新値）と、ヒータ温度 T_{ht} の推定値の現在値 $T_{ht}(k)$ （前回のサイクルタイムにおけるSTEP 16-7で求められた最新値）と、前記STEP 16-6で先に算出された排ガス温度 T_{gd} の推定値の現在値 $T_{gd}(k)$ と、素子部10の内部の空気の温度 T_A' としての大気温度 T_A の検出値の現在値 $T_A(k)$ （図8のSTEP 1で取得した最新値）と、あらかじめ定められたモデル係数 A_x 、 B_x の値及び素子温オブザーバ20の処理の周期 dt （＝排気温オブザーバ19の処理の周期）の値とを用いて前記式（10-1）の右辺の演算を行うことで、素子温度 T_{O2} の新たな推定値 $T_{O2}(k+1)$ を求める。

【 0 2 2 1 】

さらに、素子温度 T_{O2} の推定値の現在値 $T_{O2}(k)$ （前回のサイクルタイムにお

けるSTEP 16-7で求められた最新値)と、ヒータ温度 T_{ht} の推定値の現在値 $T_{ht}(k)$ (前回のサイクルタイムにおけるSTEP 16-7で求められた最新値)と、素子部10の内部の空気の温度 T_A' としての大気温度 T_A の検出値の現在値 $T_A(k)$ (図8のSTEP 1で取得した最新値)と、デューティDUTの現在値DUT(k)と、あらかじめ定められたモデル係数 C_x , D_x の値及び素子温オブザーバ20の処理の周期 dt の値とを用いて前記式(10-2)の右辺の演算を行うことで、ヒータ温度 T_{ht} の新たな推定値 $T_{ht}(k+1)$ を求める。

【0222】

尚、素子温度 T_{O_2} 及びヒータ温度 T_{ht} の推定値は、前述のようにエンジン1の運転開始時(始動時)に、その時に検出された大気温度 T_A 又は機関温度 T_W がそれぞれの初期値 $T_{O_2}(0)$, $T_{ht}(0)$ として設定されており、エンジン1の運転開始後、初めて式(10-1), (10-2)の演算を行うときには、それらの初期値 $T_{O_2}(0)$, $T_{ht}(0)$ がそれぞれ $T_{O_2}(k-1)$, $T_{ht}(k-1)$ の値として用いられる。また、式(10-2)で用いるデューティDUT(k)は、基本的には前述のSTEP 5でヒータコントローラ22が求めた最新値である。但し、前記STEP 12でデューティDUTの値が“0”に制限された場合(ヒータ13への通電を遮断する場合)には、その値が式(10-2)で用いられる。

【0223】

以上説明したセンサ温度制御手段12の処理によって、 O_2 センサ8の素子温度 T_{O_2} が目標値 R に維持されるように O_2 センサ8のヒータ13への供給電力が制御される。この場合、エンジン1の運転開始直後や、大気温度 T_A がかなり低い場合を除いて、通常的には目標値 R が 800°C に設定される。この結果、 O_2 センサ8の出力特性をエンジン1の空燃比制御(触媒装置4による良好な浄化性能を確保するための空燃比制御)に適した特性に安定に維持することができ、ひいては、その空燃比制御を良好に行って、触媒装置4の良好な浄化性能を確実に維持することができる。

【0224】

そして、本実施形態では、ヒータ13に対する制御入力としてのデューティDUTは、素子温度 T_{O_2} の推定値と目標値 R との偏差(素子温偏差) e に応じた制御

入力成分（式（24）の第1項及び第2項）をフィードバック成分として含むと共に、ヒータ温度 T_{ht} の推定値に応じた制御入力成分（式（24）の第3項）を含む。このため、素子温度 T_{02} が目標値 R に対して変動したときに、ヒータ13のデューティDUTの過大な変動を抑えながら、素子温度 T_{02} を円滑に目標値 R に収束させることができる。尚、本実施形態では、ヒータ温度 T_{ht} に係わる ΔT_{ht} を制御対象モデルの状態量としているため、ヒータ温度 T_{ht} の推定値に応じた制御入力成分はフィードバック成分としての意味をもつ。

【0225】

さらに、本実施形態では、デューティDUTは、素子温度 T_{02} の変動の外乱的な要因となる排ガス温度 T_{gd} の推定値に応じた制御入力成分、すなわち、前記最適外乱F/F成分 U_{opfd} をも含んでいる。加えて、この最適外乱F/F成分 U_{opfd} に係る係数 F_{dt} は、現在の排ガス温度が前記排ガス温度予見時間 M_d 後まで継続するとして、予見制御のアルゴリズムにより決定される。このため、排ガス温度 T_{gd} の変動による素子温度 T_{02} の変動を抑えつつ素子温度 T_{02} を目標温度に制御することができる。特に、最適外乱F/F成分 U_{opfd} に係る係数 F_{dt} が予見制御のアルゴリズムに基づいて決定されているため、排ガス温度 T_{gd} の変動による素子温度 T_{02} の変動を極力小さなものにすることができる。この結果、素子温度 T_{02} の目標値 R への制御の安定性を効果的に高め、ひいては、 O_2 センサ8の出力特性の安定性を効果的に高めることができる。

【0226】

さらに、デューティDUTは、素子温度 T_{02} の目標値 R に応じた制御入力成分、すなわち、前記最適目標値F/F成分 U_{opfr} 成分をも含んでいる。しかも、その最適目標値F/F成分 U_{opfr} 成分は、予見制御のアルゴリズムによって、現在から前記目標値予見時間 M_r 後までの目標値 R に応じた制御入力成分とされている。このため、特に、目標値 R がエンジン1の運転開始直後の低温側温度（600℃）から通常の高温側温度（750℃～800℃）に切替ったときに、制御入力DUTが一時的に（過渡的に）過剰に大きくなったり、素子温度 T_{02} が目標値 R に対してオーバーシュートを生じるのを防止することができる。これによっても、 O_2 センサ8の出力特性の安定性を効果的に高めることができる。

【 0 2 2 7 】

図 1 2 及び図 1 3 に本実施形態に係わるシミュレーション結果を示す。図 1 2 は、エンジン 1 を搭載した車両を一定の速度で走行させた状態（エンジン 1 の定常運転状態）において、時刻 t_1 にて目標値 R を低温側の目標値（600℃）から、高温側の目標値（800℃）に切替えた場合におけるヒータ温度 T_{ht} 、素子温度 T_{02} 、デューティ DUT の変化の様子を示したものである。図中、実線のグラフ e, g, i がそれぞれ本実施形態のようにヒータ 1 3 を制御した場合におけるヒータ温度 T_{ht} 、素子温度 T_{02} 、デューティ DUT の変化の様子を示している。また、破線のグラフ f, h, j はそれぞれ比較例におけるヒータ温度 T_{ht} 、素子温度 T_{02} 、デューティ DUT の変化の様子を示している。この比較例は、式（24）から目標値 R に応じた最適目標値 F/F 成分 U_{opfr} （式（24）の第 4 項）を除去した式を用いてデューティ DUT を求めてヒータ 1 3 を制御するようにしたものである。

【 0 2 2 8 】

同図 1 2 から明らかなように、本実施形態では、目標値 R に応じた最適目標値 F/F 成分 U_{opfr} をデューティ DUT が含むため、目標値 R が切替ったときに、デューティ DUT が過大になるのを抑えることができると共に、ヒータ温度 T_{ht} や素子温度 T_{02} の過渡的なオーバーシュートを抑制することができる。

【 0 2 2 9 】

また、図 1 3 は、エンジン 1 を搭載した車両を、同図の下部のグラフで示すように車速を変化させながら走行させた場合（エンジン 1 の運転状態を種々様々の運転状態に変化させた場合）における素子温度 T_{02} の変化の様子を示している。図中、実線のグラフ p が本実施形態のようにヒータ 1 3 を制御した場合における素子温度 T_{02} の変化の様子を示している。また、破線のグラフ q は比較例における素子温度 T_{02} の変化の様子を示している。この比較例は、式（24）から排ガス温度 T_{gd} に応じた最適外乱 F/F 成分 U_{opfd} （式（24）の第 5 項）を除去した式を用いてデューティ DUT を求めてヒータ 1 3 を制御するようにしたものである。

【 0 2 3 0 】

同図 1 3 から明らかなように、本実施形態では、排ガス温度 T_{gd} に応じた最適外乱 F/F 成分 U_{opfd} をデューティ DUT が含むため、排ガス温度 T_{gd} の変化に伴う素子温度 T_{O_2} の変動幅を抑制することができる。

【 0 2 3 1 】

次に、本発明の第 2 実施形態を図 1 4 を参照して説明する。尚、本実施形態は、前記第 1 の実施形態と一部の構成もしくは機能のみが相違するものであるので、同一構成部分もしくは同一機能部分については、第 1 実施形態のものと同一の参照符号を用いて詳細な説明を省略する。

【 0 2 3 2 】

本実施形態では、前記図 1 に示したコントロールユニット 1 6 のセンサ温度制御手段 1 8 は、その機能的手段として、図 1 4 のブロック図に示すように排気温オブザーバ 1 9、素子温オブザーバ 2 0、目標値設定手段 3 1、ヒータコントローラ 3 2 を備えている。ここで、排気温オブザーバ 1 9、素子温オブザーバ 2 0 は、前記第 1 実施形態のものと全く同一である。尚、本実施形態では、目標値設定手段 3 1 及びヒータコントローラ 3 2 の演算処理の周期は、前記第 1 実施形態における目標値設定手段 2 1 及びヒータコントローラ 2 2 の演算処理の周期と同一である。

【 0 2 3 3 】

目標値設定手段 3 1 は、 O_2 センサ 8 のヒータ温度 T_{ht} の目標値 R' を設定するものである。この場合、本願発明者等の知見によれば、ヒータ温度 T_{ht} は、素子温度 T_{O_2} との相関性が比較的高く、定常状態では素子温度 T_{O_2} よりも一定温度だけ高いものとなる傾向がある。そこで、本実施形態では、目標値設定手段 3 1 は、前記第 1 実施形態で説明したように設定される素子温度 T_{O_2} の目標値 R (前記図 9 の処理により設定される目標値 R) よりも所定値 DR (例えば $100^{\circ}C$) だけ高い値 $R + DR$ を、ヒータ温度 T_{ht} の目標値 R' として設定するようにしている。尚、目標値設定手段 3 1 が、その処理のサイクルタイム毎に設定する目標値 R' は、前記第 1 実施形態の場合と同様、目標値予見時間 Mr 後の目標値であり、この目標値予見時間 Mr の期間分の目標値 R' が逐次更新されつつ記憶保持される。

【 0 2 3 4 】

ヒータコントローラ 3 2 は、ヒータ温度 T_{ht} が目標値 R' に維持されるように、制御入力としてのデューティ DUT を逐次決定するものである。この場合、本実施形態では、第 1 実施形態のものと同様、ヒータコントローラ 3 2 は、最適予見制御アルゴリズムにより、基本デューティ $SDUT$ を算出し、さらにその基本デューティ $SDUT$ を、前記式 (2 5) により、バッテリー電圧 VB に応じて補正することでデューティ DUT を生成するようにしている。

【 0 2 3 5 】

より具体的には、本実施形態では、ヒータ温度 T_{ht} とそれに対する目標値 R' との偏差 e' と、その偏差 e' の所定時間毎の変化量 $\Delta e'$ (これは偏差 e' の変化速度に相当する) と、素子温度 T_{02} の所定時間毎の変化量 ΔT_{02} (これは素子温度 T_{02} の変化速度に相当する) とに着目し、これらをヒータコントローラ 3 2 の制御対象に係わる状態量として、該制御対象のモデル式を導入している。

【 0 2 3 6 】

このモデル式は、偏差 e' (以下、ヒータ温偏差 e' という) を $e'(n) = T_{ht}(n) - R'(n)$ と定義したとき、前記第 1 実施形態の場合と同様の考え方によって、前記式 (1 1 - 1)、(1 1 - 2) に基づいて、次式 (2 6) により与えられる。

【 0 2 3 7 】

【数 2 6】

$$X1(n+1) = \Phi' \cdot X1(n) + G' \cdot \Delta SDUT(n) + Gd' \cdot \Delta Tgd(n) + Gr' \cdot R1(n+1) \quad \dots\dots(26)$$

$$\text{但し、} X1(n) = (e'(n), \Delta e'(n), \Delta To2(n))^T$$

$$R1(n+1) = (\Delta R'(n+1), \Delta R'(n))^T$$

$$G' = (0, Dx \cdot dtc, 0)^T$$

$$Gd' = (0, 0, Ax \cdot dtc)^T$$

$$\Phi' = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 - Cx \cdot dtc - Fx \cdot dtc & Cx \cdot dtc \\ 0 & Bx \cdot dtc & 1 - Ax \cdot dtc - Bx \cdot dtc - Ex \cdot dtc \end{bmatrix}$$

$$Gr' = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ -1 & 1 - Cx \cdot dtc - Fx \cdot dtc \\ 0 & Bx \cdot dtc \end{bmatrix}$$

【 0 2 3 8】

そして、本実施形態でヒータコントローラ 3 2 が求める基本制御入力 SDUT (バッテリー電圧 VB が基準値 NVB に等しいときの制御入力) は、次式 (2 7) の評価関数 J1 を最小化するような $\Delta SDUT$ (式 (2 6) のモデル上での制御入力) を積分したものとして、式 (2 8) により与えられる。

【 0 2 3 9】

【数 2 7】

$$J1 = \sum_{n=-M+1}^{\infty} [X1^T(n) \cdot Q0 \cdot X1(n) + \Delta SDUT^T(n) \cdot H0 \cdot \Delta SDUT(n)] \quad \dots\dots(27)$$

$$\text{但し、} M = \max(Mr, Md)$$

【 0 2 4 0】

【数 2 8】

$$\begin{aligned} SDUT(n) = & Fs1 \cdot \sum_{j=1}^n e'(j) + Fe1 \cdot e'(n) + Fx1 \cdot To2(n) \\ & + \sum_{i=0}^{Mr} [Fr'(i) \cdot R'(n+i)] + Fdt' \cdot Tgd(n) \quad \dots\dots(28) \end{aligned}$$

【0241】

ここで、式(28)の右辺の第1項～第3項までの係数Fs1, Fe1, Fx1と、第4項に係わる係数Fr' (i) (i = 0, 1, ..., Mr) と、第5項に係わる係数Fdt' は、それぞれ、次式(29-1)～(29-3)により与えられる係数である。

【0242】

【数29】

$$F1 \equiv (Fs1, Fe1, Fx1) \\ = -[H0 + G'^T \cdot P' \cdot G']^{-1} \cdot G'^T \cdot P' \cdot \Phi' \quad \dots\dots(29-1)$$

$$Fr'(i) = \begin{cases} Fr12(i) & : i=0 \\ Fr11(i) + Fr12(i+1) & : i=1, 2, \dots, Mr-1 \\ Fr11(Mr) & : i=Mr \end{cases} \quad \dots\dots(29-2)$$

$$Fdt' = \sum_{i=0}^{Md} \{ -[H0 + G'^T \cdot P' \cdot G']^{-1} \cdot G'^T \cdot (\xi'^T)^i \cdot P' \cdot Gd' \} \\ \dots\dots(29-3)$$

但し、

$$P' = Q0 + \Phi'^T \cdot P' \cdot \Phi' \\ - \Phi' \cdot P' \cdot G' \cdot [H0 + G'^T \cdot P' \cdot G']^{-1} \cdot G'^T \cdot P' \cdot \Phi'$$

$$\xi' = \Phi' + G' \cdot F1$$

$$(Fr11(i), Fr12(i)) \\ = -[H0 + G'^T \cdot P' \cdot G']^{-1} \cdot G'^T \cdot (\xi'^T)^{i-1} \cdot P' \cdot Gd' \\ (i=1, 2, \dots, Mr)$$

【0243】

尚、評価関数J1に係わる重み行列Q0、H0、並びに、目標値予見時間Mr及び排ガス温度予見時間Mdは、本実施形態では前記第1実施形態と同一としているが、第1実施形態とは異なる値を設定するようにしてもよい。また、式(28)の係数Fs1, Fe1, Fx1, Fr' (i), Fdt' は、必ずしも式(29-1)～(29-3)の定義式通りの値を用いる必用はなく、実験やシミュレーションを通じて適宜調整した値を用いるようにしてもよい。さらには、ヒータ温度、素子温等

に応じて変更してもよい。また、本実施形態では、前記第1実施形態と同様、排ガス温度 T_{gd} は Md ステップ後の未来まで現在値に維持されるとしているが、未来の各時刻の T_{gd} が検出もしくは推定可能な場合には、それらの値を用いて制御入力 DUT を求めるようにしてもよい（この場合には、 $F_{dt'}$ はベクトルとなる）。

【0244】

前記式（28）が、本実施形態でヒータコントローラ32によりヒータ13を制御するための基本制御入力 $SDUT(n)$ を逐次算出するための演算式である。すなわち、ヒータコントローラ32は、基本制御入力 $SDUT(n)$ を該ヒータコントローラ32の制御処理のサイクルタイム（周期）毎に式（28）により逐次算出する。そして、ヒータコントローラ32は、前記第1実施形態と同様に、この基本制御入力 $SDUT(n)$ を、前記式（25）によりバッテリー電圧 VB に応じて補正することにより、デューティ $DUT(n)$ を求める。尚、式（28）の右辺各項は、前記第1実施形態のものと同様の意味を持つ。すなわち、右辺の第1から第3項まで（ $\sum e'(j)$ を含む項～ $T_{02}(n)$ を含む項まで）は、ヒータ温偏差 e' や素子温度 T_{02} に応じた制御入力成分（最適制御アルゴリズムに基づくフィードバック成分）である。また、式（28）の右辺第4項（ $\sum Fr'(i) \cdot R'(n+i)$ の項）と、右辺第5項（ $T_{gd}(n)$ を含む項）とは、それぞれ目標値 R 、排ガス温度 T_{gd} に応じた制御入力成分（予見制御アルゴリズムに基づくフィードフォワード成分）である。

【0245】

ここで、式（28）により基本制御入力 $SDUT(n)$ を求めるために必要な素子温度 T_{02} 及び排ガス温度 T_{gd} は、それぞれ、前記素子温オブザーバ20により求められた素子温度 T_{02} の推定値の最新値、前記排気温オブザーバ19により求められた排ガス温度 T_{gd} の推定値の最新値が用いられる。

【0246】

さらに、式（28）の演算に必要なヒータ温偏差 e' は、前記素子温オブザーバ20により求められたヒータ温度 T_{ht} の推定値の最新値と、前記目標値設定手段31により前記目標値予見時間 Mr 前のサイクルタイムで設定された目標値 R' とから算出される。

【0247】

以上説明した以外の処理は、前記第1実施形態と同一である。かかる本実施形態では、 O_2 センサ8のヒータ温度 T_{ht} が目標値 R' に維持されるように O_2 センサ8のヒータ13への供給電力が制御される。この場合、エンジン1の運転開始直後や、大気温度 T_A がかなり低い場合($T_A < 0^\circ C$)を除いて、通常的には目標値 R' は、素子部10の好適な目標温度である $800^\circ C$ よりも所定値 DR (本実施形態では $100^\circ C$)だけ高い温度($900^\circ C$)に設定される。この結果、 O_2 センサ8の素子部10の温度 T_{O_2} は、間接的に、ほぼ $800^\circ C$ の温度に制御されることとなる。このため、前記第1実施形態と同様に、 O_2 センサ8の出力特性をエンジン1の空燃比制御(触媒装置4による良好な浄化性能を確保するための空燃比制御)に適した特性に安定に維持することができ、ひいては、その空燃比制御を良好に行って、触媒装置4の良好な浄化性能を確実に維持することができる。尚、エンジン1の運転開始直後の所定時間は、素子部10の目標温度 R としての低温側の温度($600^\circ C$)よりも上記所定値 DR だけ高い温度($700^\circ C$)がヒータ13の目標温度 R' として設定され、これにより、素子部10が急激な加熱に伴う応力により損傷するのが防止される。さらに、大気温度 T_A が低い場合($T_A < 0^\circ C$)には、素子部10の目標温度 R を $750^\circ C \leq R < 800^\circ C$ にすることに対応して、ヒータ13の目標温度 R' は、 $850^\circ C \leq R' < 900^\circ C$ に設定され、これにより、ヒータ13が過熱状態となるのが回避される。

【0248】

また、本実施形態においては、ヒータ13に対する制御入力であるデューティ DUT は、ヒータ温度 T_{ht} の推定値に応じた制御入力成分(前記式(28)の第1項($\sum e'(j)$ を含む項)及び第2項($e'(n)$ を含む項))と、素子温度 T_{O_2} の推定値に応じた制御入力成分(前記式(28)の第3項)とを含む。加えて、本実施形態においても、予見制御のアルゴリズムを適用し、デューティ DUT には、排ガス温度 T_{gd} に応じた制御入力成分(式(28)の右辺第5項のフィードフォワード成分)と、目標値 R' に応じた制御入力成分(式(28)の右辺第4項のフィードフォワード成分)とが含まれる。この結果、前記第1実施形態と同様の作用効果を奏することができる。従って、ヒータ温度 T_{ht} を確実に所望の目標値

R' に安定して制御することができ、ひいては、素子温度 T_{02} を所望の温度に安定して制御することができる。

【0249】

次に本発明の第3実施形態を説明する。尚、本実施形態は、前記第1実施形態のものと、ヒータコントローラの処理のみ（具体的には、図10のSTEP5-4の処理）が相違するものであるので、前記第1実施形態と同一構成部分及び同一機能部分については、第1の実施形態と同一の図面及び参照符号を用いて説明を省略する。

【0250】

本実施形態では、ヒータコントローラ22は、素子温度 T_{02} と目標値 R との偏差 e （素子温偏差 e ）と、素子温度 T_{02} と、ヒータ温度 T_{ht} とを制御対象の状態量として、最適予測制御のアルゴリズムを用いて制御入力としてのDUTを逐次生成するものである。この場合、該ヒータコントローラ22の処理のアルゴリズムは、次のように構築されている。まず、前記式（11-1）、（11-2）をまとめると、次式（30-1）、（30-2）が得られる。

【0251】

【数30】

$$X_z(k+1) = A_z \cdot X_z(k) + B_z \cdot \Delta SDUT(k) + E_z \cdot \Delta T_{gd}(k) \quad \cdots \cdots (30-1)$$

$$\Delta T_{02}(k) = C_z \cdot X_z(k) \quad \cdots \cdots (30-2)$$

但し、 $X_z(k) = (\Delta T_{02}(k), \Delta T_{ht}(k))^T$

$$A_z = \begin{bmatrix} 1 - A_x \cdot dt - B_x \cdot dt - E_x \cdot dt & B_x \cdot dt \\ C_x \cdot dt & 1 - C_x \cdot dt - F_x \cdot dt \end{bmatrix}$$

$$B_z = (0, D_x \cdot dt)^T$$

$$E_z = (A_x \cdot dt, 0)^T$$

$$C_z = (1, 0)$$

【0252】

また、式（30-1）、（30-2）から、次式（31）が得られる。

【0253】

【数 3 1】

$$\begin{aligned}
 \Delta T_{02}(k+1) &= C_z \cdot X_z(k+1) \\
 &= C_z \cdot A_z \cdot X_z(k) + C_z \cdot B_z \cdot \Delta SDUT(k) + C_z \cdot E_z \cdot \Delta T_{gd}(k) \\
 &\dots\dots(31)
 \end{aligned}$$

【0 2 5 4】

尚、この式(31)は、前記式(11-2)と同じ式であり、式(22-1)、(22-2)の但し書きで定義した行列 A_z 及びベクトル B_z 、 E_z 、 C_z を用いて前記式(11-2)を書き改めたものである。

【0 2 5 5】

ここで、本実施形態では、前記式(12)により定義される前記素子温偏差 e の所定時間毎の変化量(偏差変化量) Δe を、 $\Delta e(k+1) = e(k+1) - e(k)$ により定義する。このとき、この定義式と、上記式(31)とから、次式(32)が得られる。

【0 2 5 6】

【数 3 2】

$$\begin{aligned}
 e(k+1) &= e(k) + \Delta e(k+1) \\
 &= e(k) + (\Delta T_{02}(k+1) - \Delta R(k+1)) \\
 &= e(k) + C_z \cdot A_z \cdot X_z(k) + C_z \cdot B_z \cdot \Delta SDUT(k) \\
 &\quad + C_z \cdot E_z \cdot \Delta T_{gd}(k) - \Delta R(k+1) \quad \dots\dots(32)
 \end{aligned}$$

【0 2 5 7】

そして、この式(32)と、前記式(30-1)とまとめると、次式(33)が得られる。

【0 2 5 8】

【数 3 3】

$$X2(k+1) = \Phi 2 \cdot X2(k) + G2 \cdot \Delta SDUT(k) + Gd2 \cdot \Delta Tgd(k) + Gr2 \cdot \Delta R(k+1) \quad \cdots \cdots (33)$$

但し、 $X2(k) = (e(k), \Delta T_{02}(k), \Delta T_{ht}(k))^T$

$$\Phi 2 = \begin{bmatrix} 1 & 1 - A_x \cdot dt - B_x \cdot dt - E_x \cdot dt & B_x \cdot dt \\ 0 & 1 - A_x \cdot dt - B_x \cdot dt - E_x \cdot dt & B_x \cdot dt \\ 0 & C_x \cdot dt & 1 - C_x \cdot dt - F_x \cdot dt \end{bmatrix}$$

$$G2 = (0, 0, D_x \cdot dt)^T$$

$$Gd2 = (A_x \cdot dt, A_x \cdot dt, 0)^T$$

$$Gr2 = (-1, 0, 0)^T$$

【0 2 5 9】

この式 (3 3) が、本実施形態におけるヒータコントローラ 2 2 の制御対象モデルの基本式である。この制御対象モデルでは、制御対象の状態量は、素子温偏差 e と、素子温度 T_{02} の所定時間毎の変化量 ΔT_{02} と、ヒータ温度 T_{ht} の所定時間毎の変化量 ΔT_{ht} とからなる状態量ベクトル $X2(k) = (e(k), \Delta T_{02}(k), \Delta T_{ht}(k))^T$ である。

【0 2 6 0】

但し、本実施形態では、前記第 1 実施形態と同様の理由によって、ヒータコントローラ 2 2 の処理のサイクルタイムは、素子温オブザーバ 2 0 や排気温オブザーバ 1 9 の処理の周期よりも長いものとする。従って、本実施形態で実際に用いる制御対象モデルの式は、ヒータコントローラ 2 2 の処理の周期 dtc と、その処理周期の番数 n とを用いて次式 (3 4) となる。

【0 2 6 1】

【数 3 4】

$$X2(n+1) = \Phi 2 \cdot X2(n) + G2 \cdot \Delta SDUT(n) + Gd2 \cdot \Delta Tgd(n) + Gr2 \cdot \Delta R(n+1) \quad \dots\dots (34)$$

但し、 $X2(n) = (e(n), \Delta To2(n), \Delta Tht(n))^T$

$$\Phi 2 = \begin{bmatrix} 1 & 1 - Ax \cdot dtc - Bx \cdot dtc - Ex \cdot dtc & Bx \cdot dtc \\ 0 & 1 - Ax \cdot dtc - Bx \cdot dtc - Ex \cdot dtc & Bx \cdot dtc \\ 0 & Cx \cdot dtc & 1 - Cx \cdot dtc - Fx \cdot dtc \end{bmatrix}$$

$$G2 = (0, 0, Dx \cdot dtc)^T$$

$$Gd2 = (Ax \cdot dtc, Ax \cdot dtc, 0)^T$$

$$Gr2 = (-1, 0, 0)^T$$

【0 2 6 2】

このモデル式 (3 4) に基づいて、最適予見制御アルゴリズムによりヒータコントローラ 2 2 が求める基本制御入力 SDUT (バッテリー電圧 VB が基準値 NVB に等しいときの制御入力) は、前記第 1 実施形態と同様の考え方によって、次式 (3 5) の評価関数 J 2 を最小化するような $\Delta SDUT$ (式 (3 4) のモデル上での制御入力) を積分したものとして、式 (3 6) により与えられる。

【0 2 6 3】

【数 3 5】

$$J2 = \sum_{n=-M+1}^{\infty} [X2^T(n) \cdot Q0 \cdot X2(n) + \Delta SDUT^T(n) \cdot H0 \cdot \Delta SDUT(n)] \quad \dots\dots (35)$$

但し、 $M = \max(Mr, Md)$

【0 2 6 4】

【数 3 6】

$$SDUT(n) = Fs2 \cdot \sum_{j=1}^n e(j) + Fx2 \cdot To2(n) + Fx3 \cdot Tht(n) + \sum_{i=1}^{Mr} [Fr2(i) \cdot R(n+i)] + Fdt2 \cdot Tgd(n) \quad \dots\dots (36)$$

【0 2 6 5】

ここで、式 (3 6) の右辺の第 1 項～第 3 項までの係数 $Fs2$, $Fx2$, $Fx3$ と、

第 4 項に係わる係数 $Fr2(i)$ ($i = 1, 2, \dots, Mr$) と、第 5 項に係わる係数 $Fdt2$ は、それぞれ、次式 (37-1) ~ (37-3) により与えられる係数である。

【0266】

【数 37】

$$F2 \equiv (Fs2, Fx2, Fx3) \\ = -[H0 + G2^T \cdot P2 \cdot G2]^{-1} \cdot G2^T \cdot P2 \cdot \Phi 2 \quad \dots\dots (37-1)$$

$$Fr2(i) = -[H0 + G2^T \cdot P2 \cdot G2]^{-1} \cdot G2^T \cdot (\zeta 2^T)^{i-1} \cdot P2 \cdot Gr2 \\ (i=1, 2, \dots, Mr) \quad \dots\dots (37-2)$$

$$Fdt2 = \sum_{i=0}^{Md} [-[H0 + G2^T \cdot P2 \cdot G2]^{-1} \cdot G2^T \cdot (\zeta 2^T)^i \cdot P2 \cdot Gd2] \\ \dots\dots (37-3)$$

但し、

$$P2 = Q0 + \Phi 2^T \cdot P2 \cdot \Phi 2 \\ - \Phi 2 \cdot P2 \cdot G2 \cdot [H0 + G2^T \cdot P2 \cdot G2]^{-1} \cdot G2^T \cdot P2 \cdot \Phi 2$$

$$\zeta 2 = \Phi 2 + G2 \cdot F2$$

【0267】

尚、評価関数 $J2$ に係わる重み行列 $Q0$ 、 $H0$ 、並びに、目標値予見時間 Mr 及び排ガス温度予見時間 Md は、本実施形態では前記第 1 実施形態と同一としているが、第 1 実施形態とは異なる値を設定するようにしてもよい。また、式 (36) の係数 $Fs2$ 、 $Fx2$ 、 $Fx3$ 、 $Fr2(i)$ 、 $Fdt2$ は、必ずしも式 (37-1) ~ (37-3) の定義式通りの値を用いる必用はなく、実験やシミュレーションを通じて適宜調整した値を用いるようにしてもよい。さらには、ヒータ温度、素子温等に応じて変更してもよい。また、本実施形態では、前記第 1 実施形態と同様、排ガス温度 Tgd は Md ステップ後の未来まで現在値に維持されるとしているが、未来の各時刻の Tgd が検出もしくは推定可能な場合には、それらの値を用いて制御入力 DUT を求めるようにしてもよい（この場合には、 $Fdt2$ はベクトルとなる）。

【0268】

前記式 (36) が、本実施形態でヒータコントローラ 32 によりヒータ 13 を制御するための基本制御入力 $SDUT(n)$ を逐次算出するための演算式である。すな

わち、ヒータコントローラ 2 2 は、基本制御入力 $SDUT(n)$ を該ヒータコントローラ 2 2 の制御処理のサイクルタイム（周期）毎に式（3 6）により逐次算出する。そして、ヒータコントローラ 2 2 は、前記第 1 実施形態と同様に、この基本制御入力 $SDUT(n)$ を、前記式（3 7）によりバッテリー電圧 VB に応じて補正することにより、デューティ $DUT(n)$ を求める。尚、式（3 6）の右辺の第 1 から第 3 項まで（ $\sum e(j)$ を含む項～ $T_{ht}(n)$ を含む項まで）は、素子温偏差 e や素子温度 T_{02} 、ヒータ温度 T_{ht} に応じた制御入力成分（最適制御アルゴリズムに基づくフィードバック成分）である。また、式（3 6）の右辺第 4 項（ $\sum Fr2(i) \cdot R(n+i)$ の項）と、右辺第 5 項（ $T_{gd}(n)$ を含む項）とは、それぞれ目標値 R 、排ガス温度 T_{gd} に応じた制御入力成分（予見制御アルゴリズムに基づくフィードフォワード成分）である。

【 0 2 6 9 】

ここで、式（3 6）により基本制御入力 $SDUT(n)$ を求めるために必要な素子温度 T_{02} 及びヒータ温度 T_{ht} は、それぞれ、前記素子温オブザーバ 2 0 により求められた素子温度 T_{02} の推定値の最新値、ヒータ温度 T_{ht} の推定値の最新値が用いられ、式（3 6）の排ガス温度 T_{gd} は、前記排気温オブザーバ 1 9 により求められた排ガス温度 T_{gd} の推定値の最新値が用いられる。

【 0 2 7 0 】

さらに、式（3 6）の演算に必要な素子温偏差 e は、前記素子温オブザーバ 2 0 により求められた素子温度 T_{02} の推定値の最新値と、前記目標値設定手段 2 1 により前記目標値予見時間 Mr 前のサイクルタイムで設定された目標値 $R(n)$ とから算出される。また、式（3 6）の右辺第 4 項は、目標値設定手段 2 1 により前記目標値予見時間 Mr 前のサイクルタイムより 1 サイクル後のサイクルタイムから、現在までに設定された目標値 R の時系列データ $R(n+1)$ 、 $R(n+2)$ 、…、 $R(n+Mr)$ を用いて算出される。

【 0 2 7 1 】

以上説明した以外の処理は、前記第 1 実施形態と同一である。より詳しくは、本実施形態では、ヒータコントローラ 2 2 は、図 1 0 の STEP 5-4 において、式（3 6）、（3 7）により $DUT(n)$ を求める。そして、その STEP 5-4 の

処理以外の処理は、前記第1実施形態と全く同一である。かかる本実施形態においても、前記第1実施形態と同様に、素子温度 T_{02} が目標値 R に制御されることとなる。この場合、前記基本制御入力SDUTは、前記第1実施形態と異なり、素子温偏差 e に直接的に比例した入力成分は含んでいないものの、特に、素子温度 T_{02} に応じた成分（式（36）の第2項）を含んでいる。このため、エンジン1の運転開始直後や、目標値設定手段21により目標値 R が低温側の目標値（本実施形態では600℃）から高温側の目標値（750℃～800℃）に切換えられた場合に、素子温度 T_{02} が目標値 R に近づいていくときに、素子温度 T_{02} が目標値 R に対してオーバシュートを生じるのを効果的に防止することができる。尚、基本制御入力SDUT、ひいてはデューティDUTが、ヒータ温度 T_{ht} や、目標値 R 、排ガス温度 T_{gd} に応じた入力成分を含むことによる効果は、前記第1実施形態と同様である。

【0272】

次に、本発明の第4実施形態を説明する。尚、本実施形態は、前記第2実施形態のものと、ヒータコントローラの処理のみが相違するものである。第2実施形態と同一構成部分及び同一機能部分については、第2実施形態と同一の図面及び参照符号（第2実施形態で援用した第1実施形態のものを含む）を用いて説明を省略する。

【0273】

本実施形態は、前記第2実施形態で説明したヒータコントローラ32（図14）の処理のみが、該第2実施形態と相違するものであり、前記第3実施形態で説明したような形態の最適予見制御アルゴリズムによりデューティDUTを求めるものである。すなわち、本実施形態では、ヒータコントローラ32の制御対象の状態量を、ヒータ温度 T_{ht} と目標値 R' との偏差（ヒータ温偏差） e' と、素子温度 T_{02} の所定時間毎の変化量 ΔT_{02} と、ヒータ温度 T_{ht} の所定時間毎の変化量 ΔT_{ht} とからなる状態量ベクトル $X3(n) = (e'(n), \Delta T_{02}(n), \Delta T_{ht}(n))^T$ をヒータコントローラ32の制御対象の状態量とする。つまり、本実施形態での制御対象の状態量は、前記第3実施形態における状態量ベクトル $X2(n) = (e(n), \Delta T_{02}(n), \Delta T_{ht}(n))^T$ の素子温偏差 $e(n)$ の代わりに、ヒータ温偏差 $e'(n)$

を用いたものである。この場合、ヒータ温偏差 e' の所定時間毎の変化量 $\Delta e'$ を改めて $\Delta e' (n+1) = e' (n+1) - e' (n)$ と定義し直したとき、前記第3実施形態と同様の考え方によって、制御対象モデルは、次式 (38) により表される。

【0274】

【数38】

$$X3(n+1) = \Phi3 \cdot X3(n) + G3 \cdot \Delta SDUT(n) + Gd3 \cdot \Delta Tgd(n) + Gr3 \cdot \Delta R'(n+1) \quad \cdots \cdots (38)$$

但し、 $X3(n) = (e'(n), \Delta To2(n), \Delta Tht(n))^T$

$$\Phi3 = \begin{bmatrix} 1 & Cx \cdot dtc & 1 - Cx \cdot dtc - Fx \cdot dtc \\ 0 & 1 - Ax \cdot dtc - Bx \cdot dtc - Ex \cdot dtc & Bx \cdot dtc \\ 0 & Cx \cdot dtc & 1 - Cx \cdot dtc - Fx \cdot dtc \end{bmatrix}$$

$$G3 = (Dx \cdot dtc, 0, Dx \cdot dtc)^T$$

$$Gd3 = (0, Ax \cdot dtc, 0)^T$$

$$Gr3 = (-1, 0, 0)^T$$

【0275】

そして、本実施形態でヒータコントローラ32が求める基本制御入力SDUT（バッテリー電圧VBが基準値NVBに等しいときの制御入力）は、次式 (39) の評価関数J3を最小化するような $\Delta SDUT$ （式 (38) のモデル上での制御入力）を積分したものとして、式 (40) により与えられる。

【0276】

【数39】

$$J3 = \sum_{n=-M+1}^{\infty} [X3^T(n) \cdot Q0 \cdot X3(n) + \Delta SDUT^T(n) \cdot H0 \cdot \Delta SDUT(n)] \quad \cdots \cdots (39)$$

但し、 $M = \max(Mr, Md)$

【0277】

【数 4 0】

$$SDUT(n) = F_{s3} \cdot \sum_{j=1}^n e'(j) + F_{x4} \cdot To2(n) + F_{x5} \cdot Tht(n) \\ + \sum_{i=1}^{Mr} [Fr3(i) \cdot R'(n+i)] + F_{dt3} \cdot Tgd(n) \quad \cdots \cdots (40)$$

【0 2 7 8】

ここで、式(40)の右辺の第1項～第3項までの係数 F_{s3} 、 F_{x4} 、 F_{x5} と、第4項に係わる係数 $Fr3(i)$ ($i = 1, 2, \dots, Mr$)と、第5項に係わる係数 F_{dt3} は、それぞれ、次式(41-1)～(41-3)により与えられる係数である。

【0 2 7 9】

【数 4 1】

$$F3 \equiv (F_{s3}, F_{x4}, F_{x5}) \\ = -[H0 + G3^T \cdot P3 \cdot G3]^{-1} \cdot G3^T \cdot P3 \cdot \Phi3 \quad \cdots \cdots (41-1)$$

$$Fr3(i) = -[H0 + G3^T \cdot P3 \cdot G3]^{-1} \cdot G3^T \cdot (\xi3^T)^{i-1} \cdot P3 \cdot Gr3 \\ (i=1, 2, \dots, Mr) \quad \cdots \cdots (41-2)$$

$$F_{dt3} = \sum_{i=0}^{Md} [-[H0 + G3^T \cdot P3 \cdot G3]^{-1} \cdot G3^T \cdot (\xi3^T)^i \cdot P3 \cdot Gd3] \\ \cdots \cdots (41-3)$$

但し、

$$P3 = Q0 + \Phi3^T \cdot P3 \cdot \Phi3 \\ - \Phi3 \cdot P3 \cdot G3 \cdot [H0 + G3^T \cdot P3 \cdot G3]^{-1} \cdot G3^T \cdot P3 \cdot \Phi3$$

$$\xi3 = \Phi3 + G3 \cdot F3$$

【0 2 8 0】

尚、評価関数 $J3$ に係わる重み行列 $Q0$ 、 $H0$ 、並びに、目標値予見時間 Mr 及び排ガス温度予見時間 Md は、本実施形態では前記第1実施形態と同一としているが、第1実施形態とは異なる値を設定するようにしてもよい。また、式(40)の係数 F_{s3} 、 F_{x4} 、 F_{x5} 、 $Fr3(i)$ 、 F_{dt3} は、必ずしも式(41-1)～(41-3)の定義式通りの値を用いる必用はなく、実験やシミュレーションを通じて

適宜調整した値を用いるようにしてもよい。さらには、ヒータ温度、素子温等に応じて変更してもよい。また、本実施形態では、前記第1実施形態と同様、排ガス温度 T_{gd} は Md ステップ後の未来まで現在値に維持されるとしているが、未来の各時刻の T_{gd} が検出もしくは推定可能な場合には、それらの値を用いて制御入力 DUT を求めるようにしてもよい（この場合には、 F_{dt3} はベクトルとなる）。

【 0 2 8 1 】

前記式 (40) が、本実施形態でヒータコントローラ 32 によりヒータ 13 を制御するための基本制御入力 $SDUT(n)$ を逐次算出するための演算式である。すなわち、ヒータコントローラ 32 は、基本制御入力 $SDUT(n)$ を該ヒータコントローラ 32 の制御処理のサイクルタイム（周期）毎に式 (40) により逐次算出する。そして、ヒータコントローラ 32 は、前記第1実施形態と同様に、この基本制御入力 $SDUT(n)$ を、前記式 (25) によりバッテリー電圧 VB に応じて補正することにより、デューティ $DUT(n)$ を求める。尚、式 (40) の右辺の第1から第3項まで ($\sum e(j)$ を含む項 $\sim T_{ht}(n)$ を含む項まで) は、素子温偏差 e や素子温度 T_{02} 、ヒータ温度 T_{ht} に応じた制御入力成分（最適制御アルゴリズムに基づくフィードバック成分）である。また、式 (40) の右辺第4項 ($\sum F_{r3}(i) \cdot R'(n+i)$ の項) と、右辺第5項 ($T_{gd}(n)$ を含む項) とは、それぞれ目標値 R' 、排ガス温度 T_{gd} に応じた制御入力成分（予見制御アルゴリズムに基づくフィードフォワード成分）である。

【 0 2 8 2 】

ここで、式 (40) により基本制御入力 $SDUT(n)$ を求めるために必要な素子温度 T_{02} 及び排ガス温度 T_{gd} は、それぞれ、前記素子温オブザーバ 20 により求められた素子温度 T_{02} の推定値の最新値、前記排気温オブザーバ 19 により求められた排ガス温度 T_{gd} の推定値の最新値が用いられる。さらに、式 (40) の演算に必要なヒータ温偏差 e' は、前記素子温オブザーバ 20 により求められたヒータ温度 T_{ht} の推定値の最新値と、前記目標値設定手段 31 により前記目標値予見時間 M_r 前のサイクルタイムで設定された目標値 $R'(n)$ とから算出される。また、式 (40) の右辺第4項は、目標値設定手段 31 により前記目標値予見時間 M_r 前のサイクルタイムより1サイクル後のサイクルタイムから、現在までに設定

された目標値 R' の時系列データ $R' (n+1)$ 、 $R' (n+2)$ 、 \dots 、 $R' (n+Mr)$ を用いて算出される。

【0283】

以上説明した以外の処理は、前記第2実施形態と同一である。かかる本実施形態においても、前記第2実施形態と同様に、ヒータ温度 T_{ht} が目標値 R' に制御され、ひいては、素子温度 T_{O_2} が該目標値 R' に対応した温度に制御されることとなる。この場合、前記基本制御入力 $SDUT$ は、前記第2実施形態と異なり、ヒータ温度偏差 e' に直接的に比例した入力成分は含んでいないものの、特に、ヒータ温度 T_{ht} に応じた成分（式（40）の第3項）を含んでいる。このため、エンジン1の運転開始直後や、目標値設定手段31により目標値 R' が低温側の目標値（本実施形態では 700°C ）から高温側の目標値（ $850^{\circ}\text{C} \sim 900^{\circ}\text{C}$ ）に切換えられた場合に、ヒータ温度 T_{ht} が目標値 R' に近づいていくときに、ヒータ温度 T_{ht} が目標値 R' に対してオーバーシュートを生じるのを効果的に防止することができる。ひいては、素子温度 T_{O_2} をヒータ温度 T_{ht} の目標値 R' に対応した温度に円滑に収束させることができる。また、基本制御入力 $SDUT$ 、ひいてはデューティ DUT が、ヒータ温度 T_{O_2} や、目標値 R' 、排ガス温度 T_{gd} に応じた入力成分を含むことによる効果は、前記第2実施形態と同様である。

【0284】

尚、以上説明した第1～第4実施形態では、排ガス温度 T_{gd} を推定するようにしたが、例えば O_2 センサ8の近傍に、排ガス温度センサを設け、この排ガス温度センサにより排ガス温度 T_{gd} を検出するようにしてもよい。また、 O_2 センサ8から離間した場所に排ガス温度センサが備えられている場合であっても、排気系のレイアウト等によって、その排ガス温度センサの検出温度が O_2 センサ8の近傍の排ガス温度 T_{gd} とほぼ同等になるような場合には、その検出温度を O_2 センサ8の近傍の排ガス温度 T_{gd} として代用的に用いるようにしてもよい。このように排ガス温度センサの検出温度を用いる場合にあっては、前記式（10-1）の排ガス温度 T_{gd} の値として、排ガス温度センサの検出値（最新値）を用いて、素子温度 T_{O_2} 及びヒータ温度 T_{ht} を推定する。さらに、式（24）あるいは式（28）あるいは式（36）あるいは式（40）の排ガス温度 T_{gd} の値として、排

ガス温度センサの検出値（最新値）を用いて、基本デューティSDUTを算出し、さらに式（25）によりデューティDUTを算出するようにすればよい。

【0285】

さらに、 O_2 センサ8から離間した場所に排ガス温度センサが備えられている場合で、その排ガス温度センサの検出温度が O_2 センサ8の近傍の排ガス温度 T_{gd} と必ずしも同等にならないような場合には、排ガス温度センサの検出温度を用いて O_2 センサ8の近傍の排ガス温度 T_{gd} を推定するようにすることも可能である。例えば、前記部分排気通路3bにおける排ガス温度 T_{gb} を検出できる排ガス温度センサが備えられている場合には、前記式（8-1）における排ガス温度 T_{gb} として検出値を用いることで、式（8）及び式（9）の演算により、 O_2 センサ8の近傍の排ガス温度 T_{gd} を推定できる。尚、この場合には、式（1）、（5）、（6）の演算処理は不要となる。

【0286】

また、前記第1及び第2実施形態では、素子温度 T_{O_2} 及びヒータ温度 T_{ht} の両者を推定するようにしたが、いずれか一方、もしくは両者を温度センサにより直接的に検出するようにしてもよい。素子温度 T_{O_2} を検出するようにした場合には、式（10-2）の素子温度 T_{O_2} の値として、該素子温度 T_{O_2} の検出値を用いて、ヒータ温度 T_{ht} を推定する。さらに、式（24）あるいは式（28）あるいは式（36）あるいは式（40）の演算におけるヒータ温度 T_{ht} として、推定値を用いると共に、素子温度 T_{O_2} の値として、該素子温度 T_{O_2} の検出値を用いることで、デューティDUTを算出するようにすればよい。また、ヒータ温度 T_{ht} を検出するようにした場合には、式（10-1）のヒータ温度 T_{ht} の値として、該ヒータ温度 T_{ht} の検出値を用いて、素子温度 T_{O_2} を推定する。さらに、式（24）あるいは式（28）あるいは式（36）あるいは式（40）の演算における素子温度 T_{O_2} として、推定値を用いると共に、ヒータ温度 T_{ht} の値として、該ヒータ温度 T_{ht} の検出値を用いることで、デューティDUTを算出するようにすればよい。

また、素子温度 T_{O_2} 及びヒータ温度 T_{ht} の両者を温度センサで検出するようにした場合には、式（24）あるいは式（28）あるいは式（36）あるいは式（40）の演算における素子温度 T_{O_2} 及びヒータ温度 T_{ht} の値として、それらの検出

値を用いることで、デューティDUTを算出するようにすればよい。

【0287】

また、前記第1及び第2実施形態では、最適予見制御のアルゴリズムにより O_2 センサ8の素子温度 T_{O2} 又はヒータ温度 T_{ht} を目標値 R 又は R' に制御するようにしたが、本発明はこれに限られるものではない。

【0288】

例えば予見制御のアルゴリズムを含まない通常的な最適制御のアルゴリズムにより制御入力DUTを求めるようにしてもよい。この場合には、式(24)又は式(36)の右辺から、第4項($R(n+i)$ を含む項)と第5項($T_{gd}(n)$ を含む項)とを除去した式、あるいは、式(28)又は式(40)の右辺から、第4項($R'(n+i)$ を含む項)と第5項($T_{gd}(n)$ を含む項)とを除去した式によって、制御入力DUTを逐次算出するようにすればよい。このようにした場合には、制御入力DUTを求めるヒータコントローラは、式(17)あるいは式(27)あるいは式(35)あるいは式(39)で $M=0$ としてなる評価関数 J_0 又は J_1 又は J_2 又は J_3 の値を最小化するように制御入力DUTを求める最適サーボコントローラとなる。

【0289】

あるいは、例えば、式(24)の右辺から、第3項(ヒータ温度 T_{ht} に応じた成分)、第4項($R(n+i)$ を含む項)及び第5項($T_{gd}(n)$ を含む項)のいずれか一つもしくは二つを除去した式によって、制御入力DUTを算出するようにしてもよい。また、例えば式(28)の右辺から、第3項(素子温度 T_{O2} に応じた成分)、第4項($R'(n+i)$ を含む項)及び第5項($T_{gd}(n)$ を含む項)のいずれか一つもしくは二つを除去した式によって、制御入力DUTを算出するようにしてもよい。また、例えば式(36)の右辺から、第3項(ヒータ温度 T_{ht} に応じた成分)、第4項($R(n+i)$ を含む項)及び第5項($T_{gd}(n)$ を含む項)のいずれか一つもしくは二つを除去した式によって、制御入力DUTを算出するようにしてもよい。また、例えば式(40)の右辺から、第2項(素子温度 T_{O2} に応じた成分)、第4項($R'(n+i)$ を含む項)及び第5項($T_{gd}(n)$ を含む項)のいずれか一つもしくは二つを除去した式によって、制御入力DUTを算出するようにしてもよい。

また、例えば式(24)もしくは式(36)における素子温度偏差 e に応じた成分や、式(28)もしくは式(40)におけるヒータ温度偏差 e' に応じた成分をPI制御則や、PID制御則によって求めるようにしてもよい。

【0290】

また、前記各実施形態では、 O_2 センサ8の素子温度 T_{O_2} を制御する場合を例にとって説明したが、 O_2 センサ8以外の排ガスセンサ(例えば、前記広域空燃比センサ9や、排ガスの水分含有量に応じた出力を発生する温度センサ等)についても本発明を適用することができることはもちろんである。

【0291】

また、内燃機関としては、通常のポート噴射式内燃機関、筒内直接噴射型火花点火式内燃機関、ディーゼル機関等、さらには船外機用の内燃機関等についても本発明を適用可能であることは言うまでも無い。

【図面の簡単な説明】

【図1】

本発明の第1実施形態の装置の全体構成を示すブロック図。

【図2】

図1の装置に備えた O_2 センサ(排ガスセンサ)の構造を示す断面図。

【図3】

図2の O_2 センサの出力特性を示すグラフ。

【図4】

図1の装置に備えたセンサ温度制御手段の機能的構成を示すブロック図。

【図5】

図5のセンサ温度制御手段に備えた排気温度オブザーバの処理を説明するための断面図。

【図6】

図5のセンサ温度制御手段に備えた排気温度オブザーバの機能的構成を示すブロック図。

【図7】

図5のセンサ温度制御手段に備えたヒータコントローラの機能的構成を示すブ

ロック図。

【図 8】

図 1 の装置に備えたセンサ温度制御手段の全体的処理を示すフローチャート。

【図 9】

図 8 のフローチャートのサブルーチン処理を示すフローチャート。

【図 1 0】

図 8 のフローチャートのサブルーチン処理を示すフローチャート。

【図 1 1】

図 8 のフローチャートのサブルーチン処理を示すフローチャート。

【図 1 2】

第 1 実施形態のシミュレーション結果を示すグラフ。

【図 1 3】

第 1 実施形態のシミュレーション結果を示すグラフ。

【図 1 4】

本発明の第 2 実施形態におけるセンサ温度制御手段の機能的構成を示すブロック図。

【符号の説明】

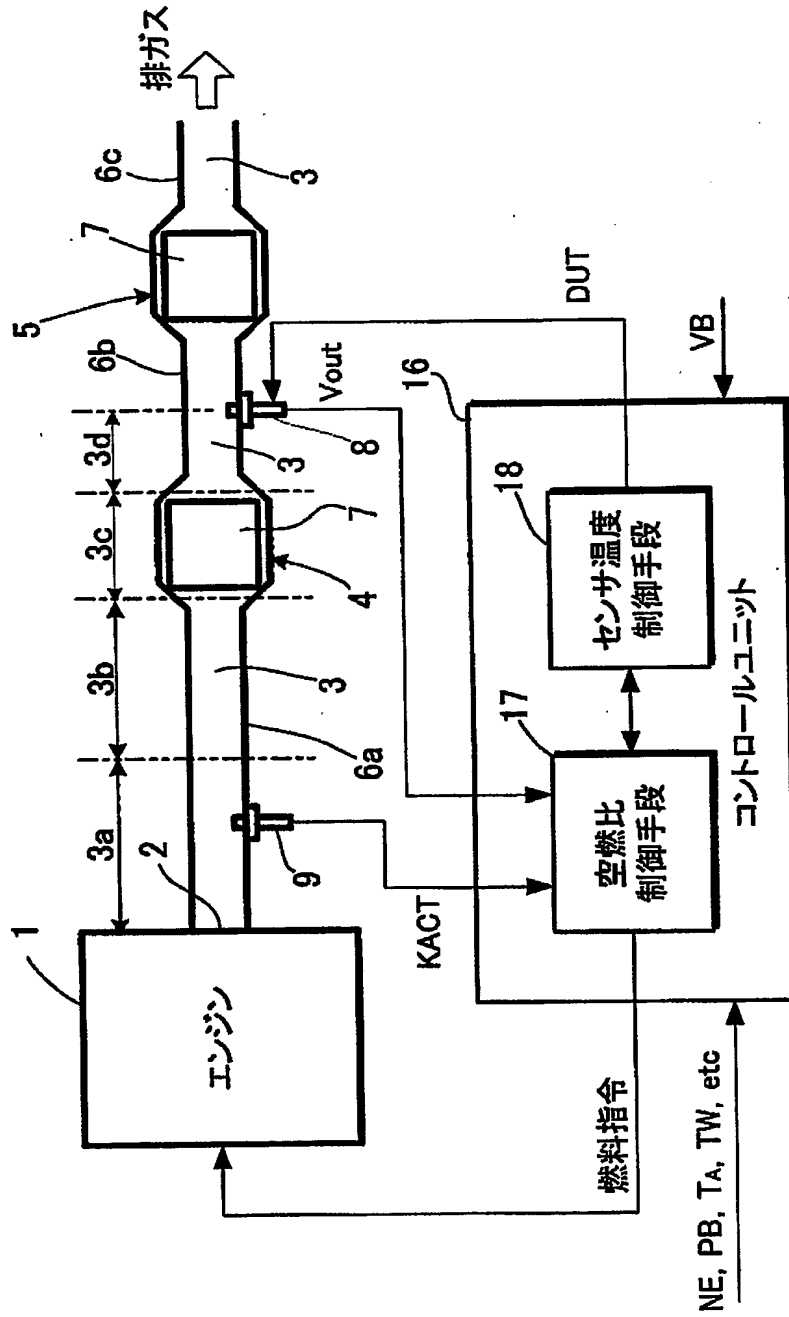
1 …エンジン（内燃機関）、3 …排気通路、8 … O_2 センサ（排ガスセンサ）、10 …素子部、13 …ヒータ、18 …センサ温度制御手段、22 …ヒータコントローラ（ヒータ制御手段）。

【書類名】

図面

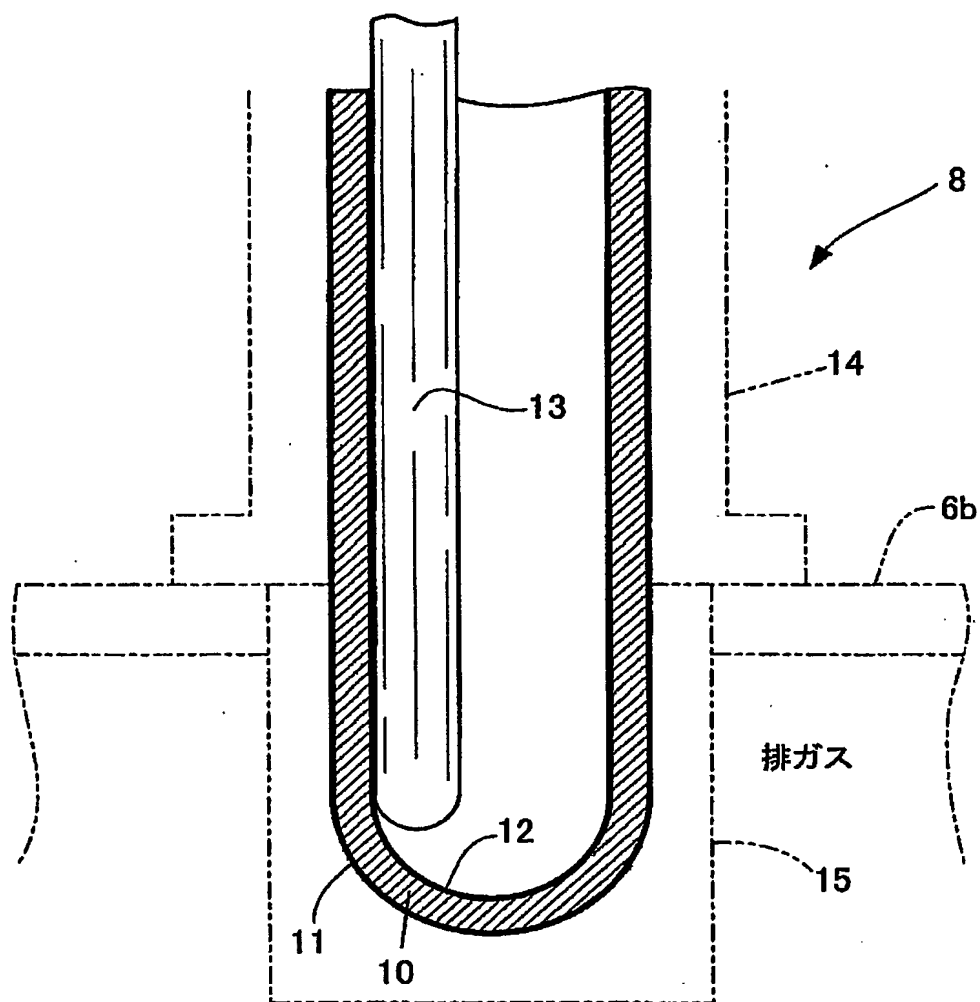
【図1】

FIG.1



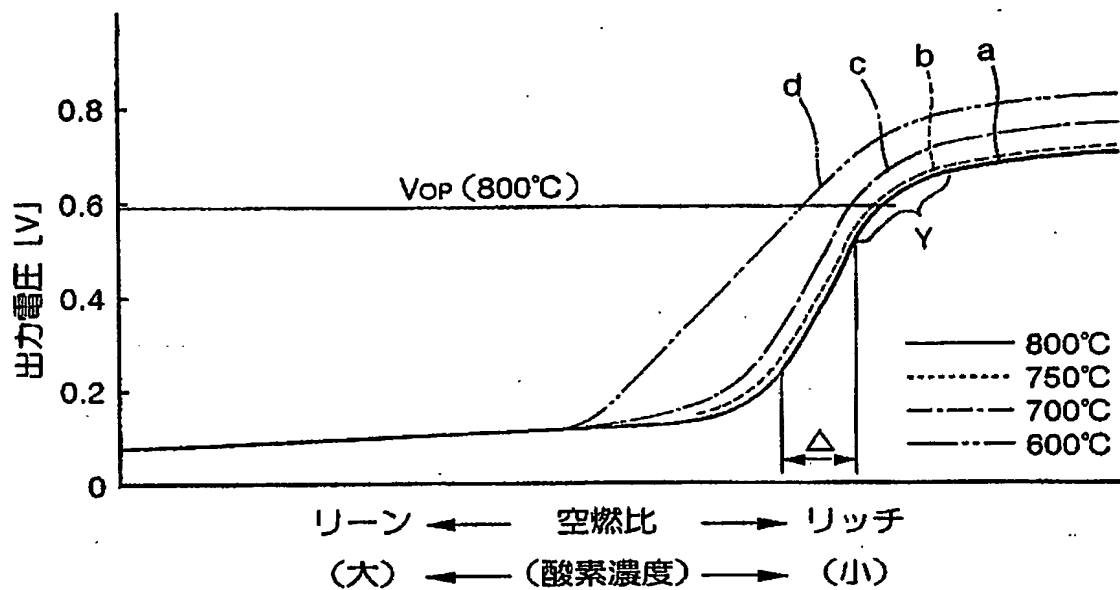
【図 2】

FIG.2

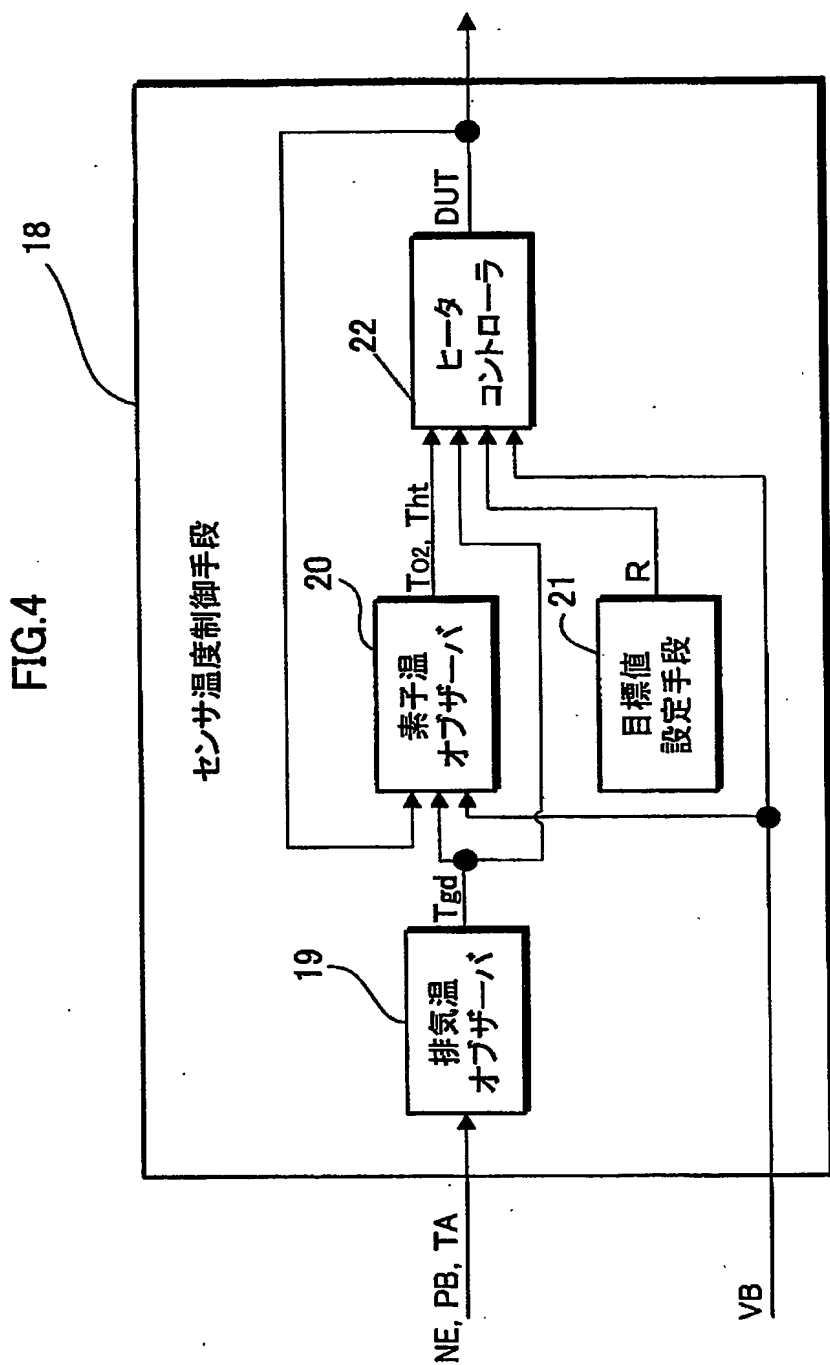


【図3】

FIG.3

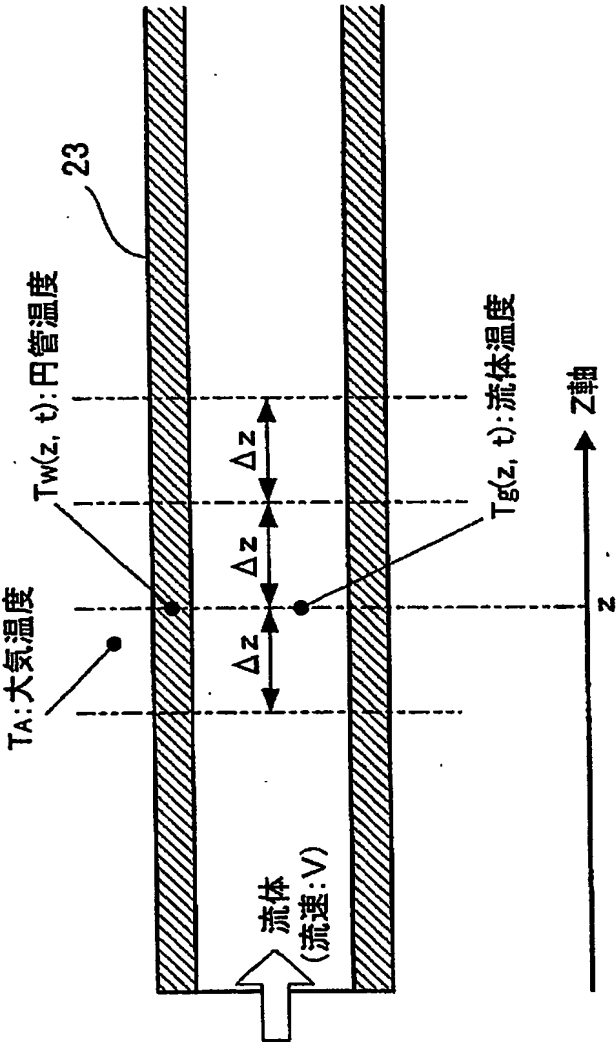


【図 4】



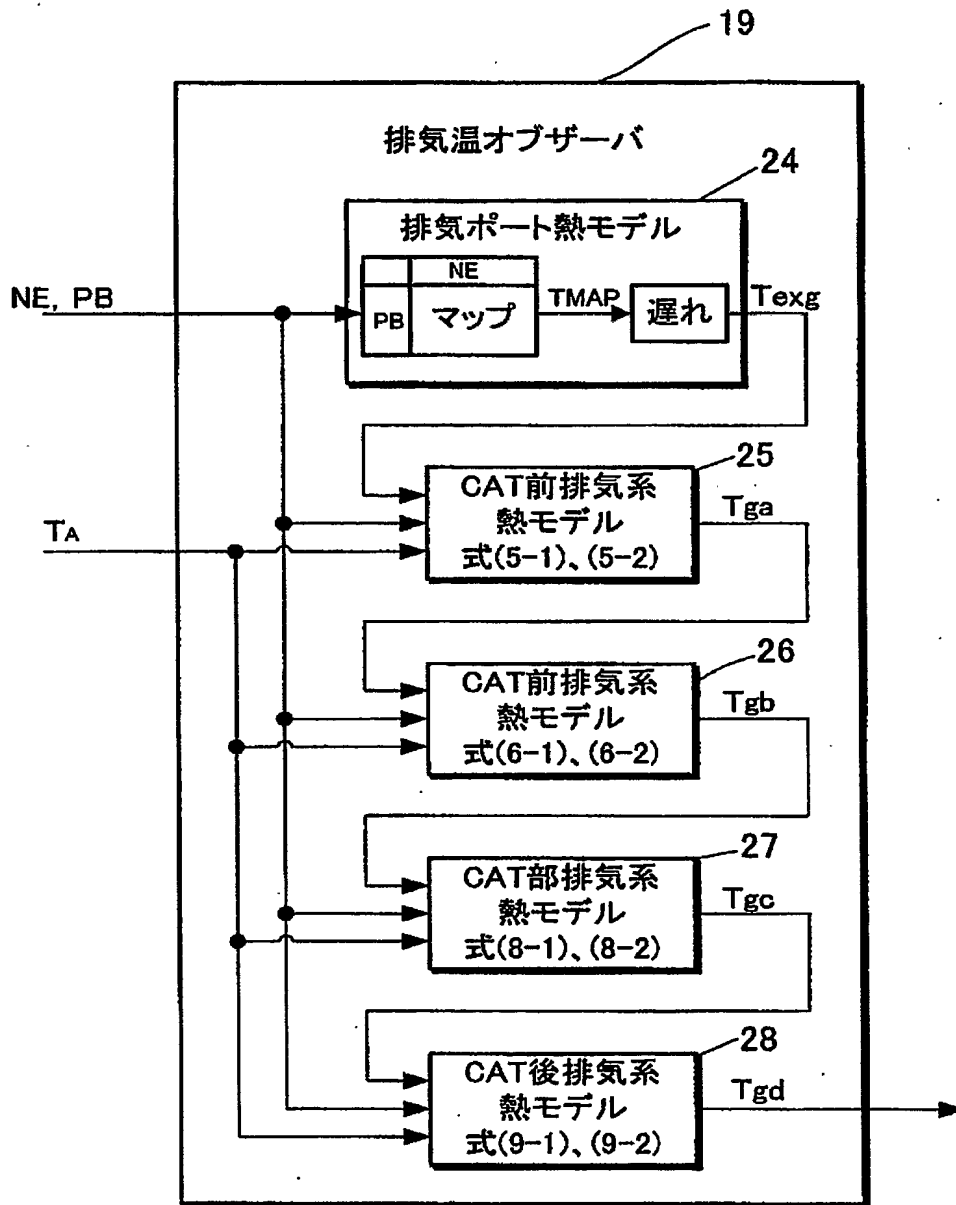
【図 5】

FIG.5



【図 6】

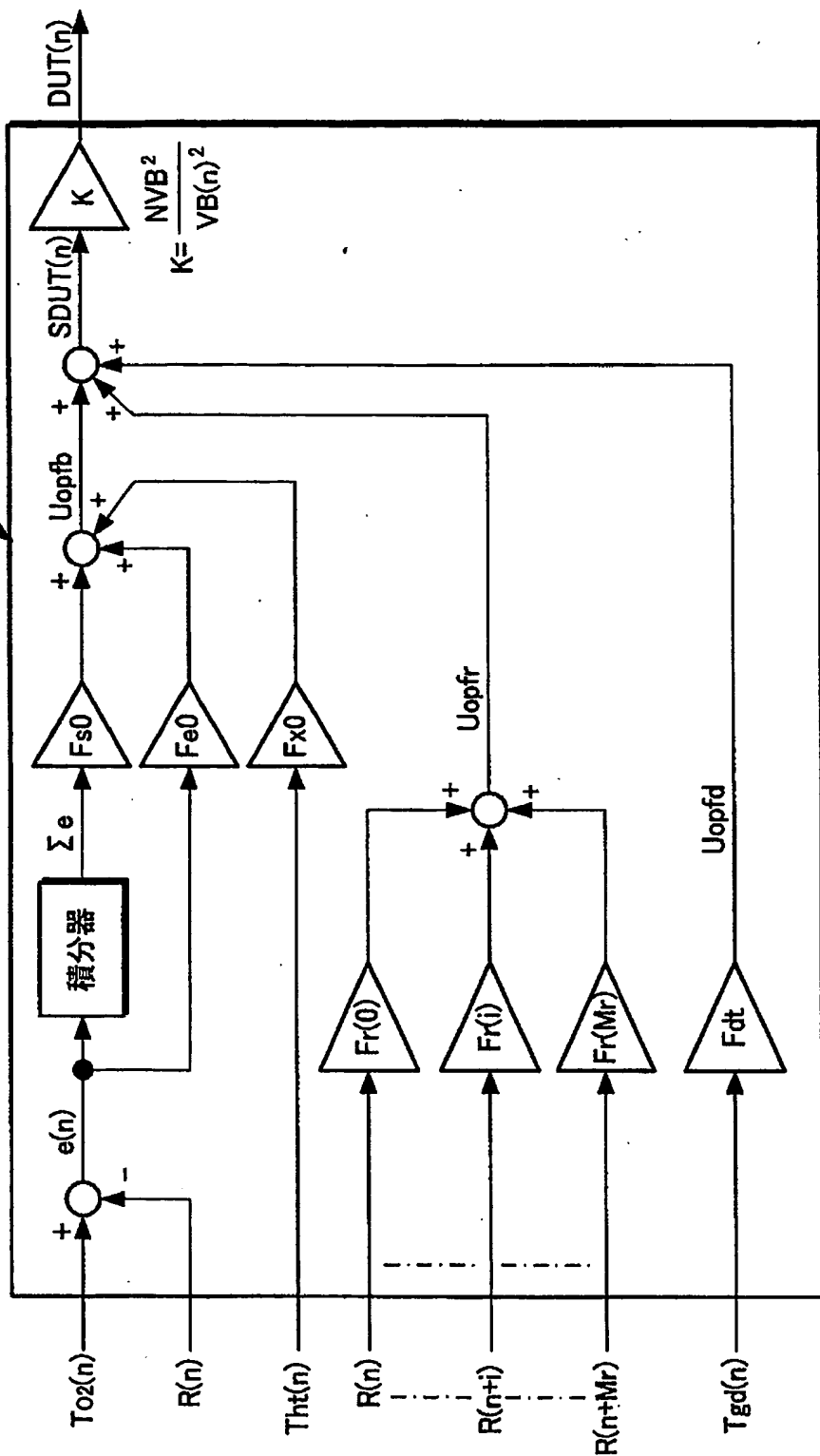
FIG.6



【図 7】

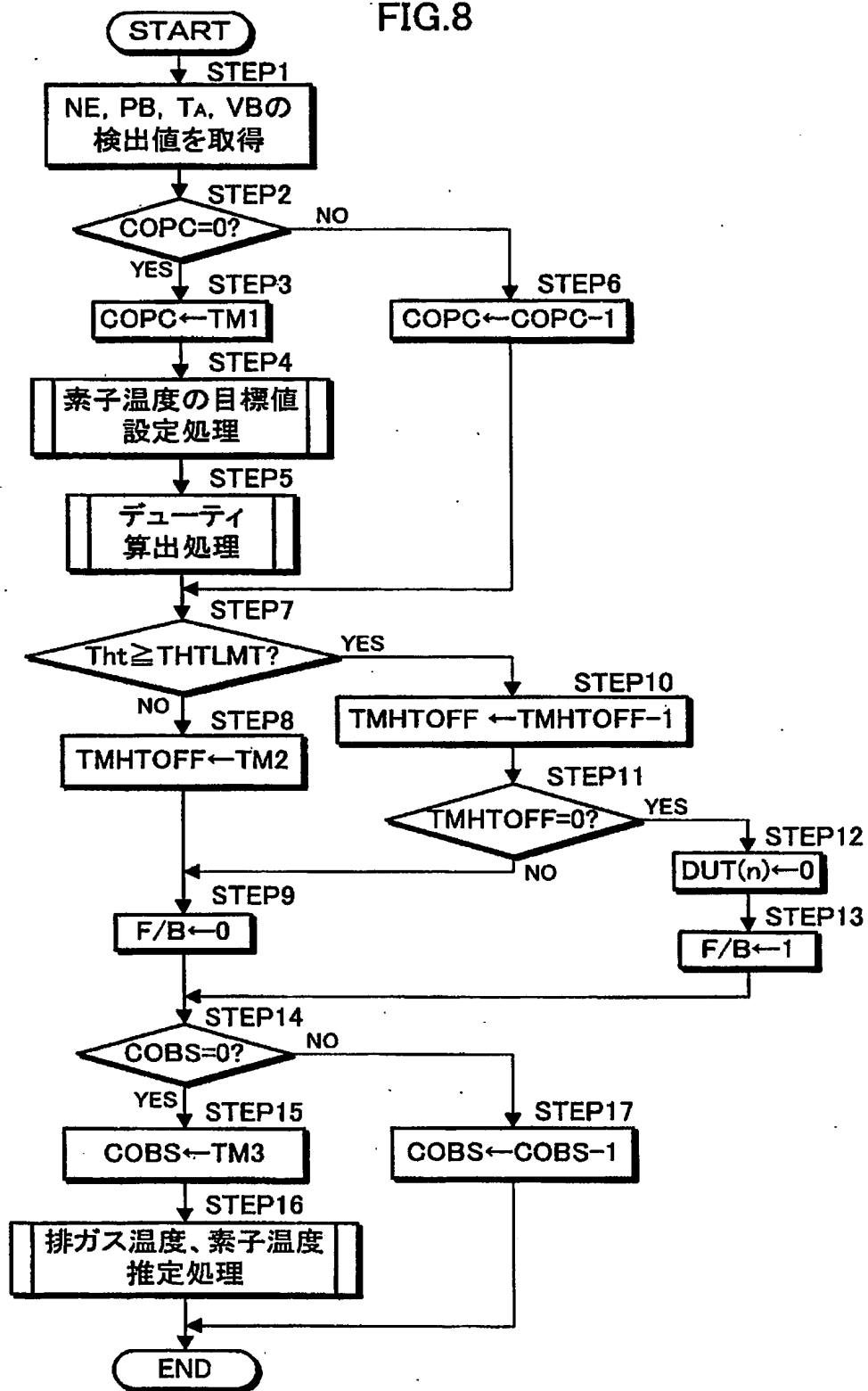
22(ヒータコントローラ)

FIG.7



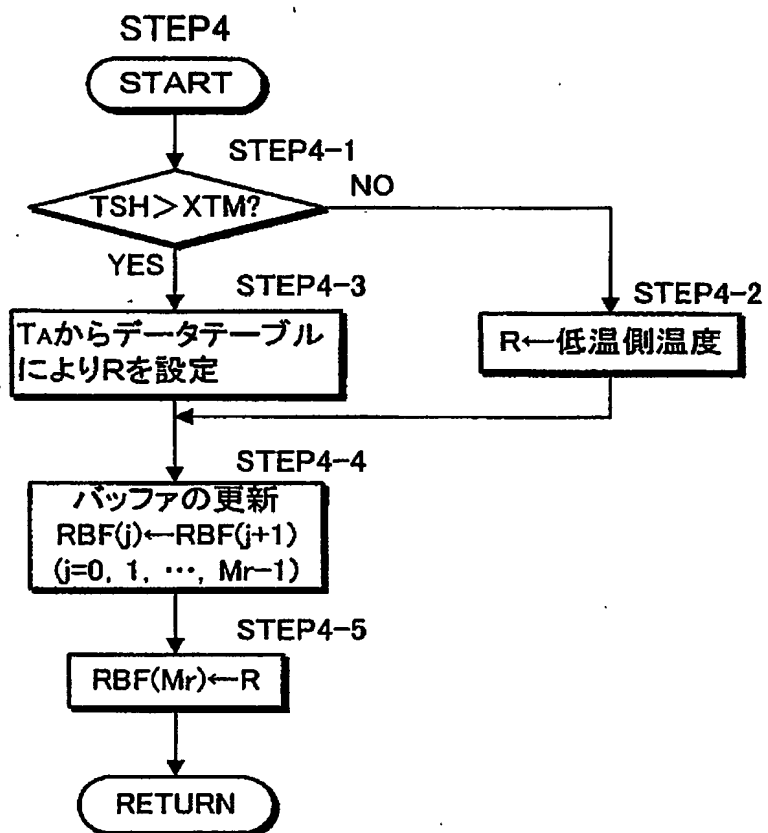
【図 8】

FIG.8



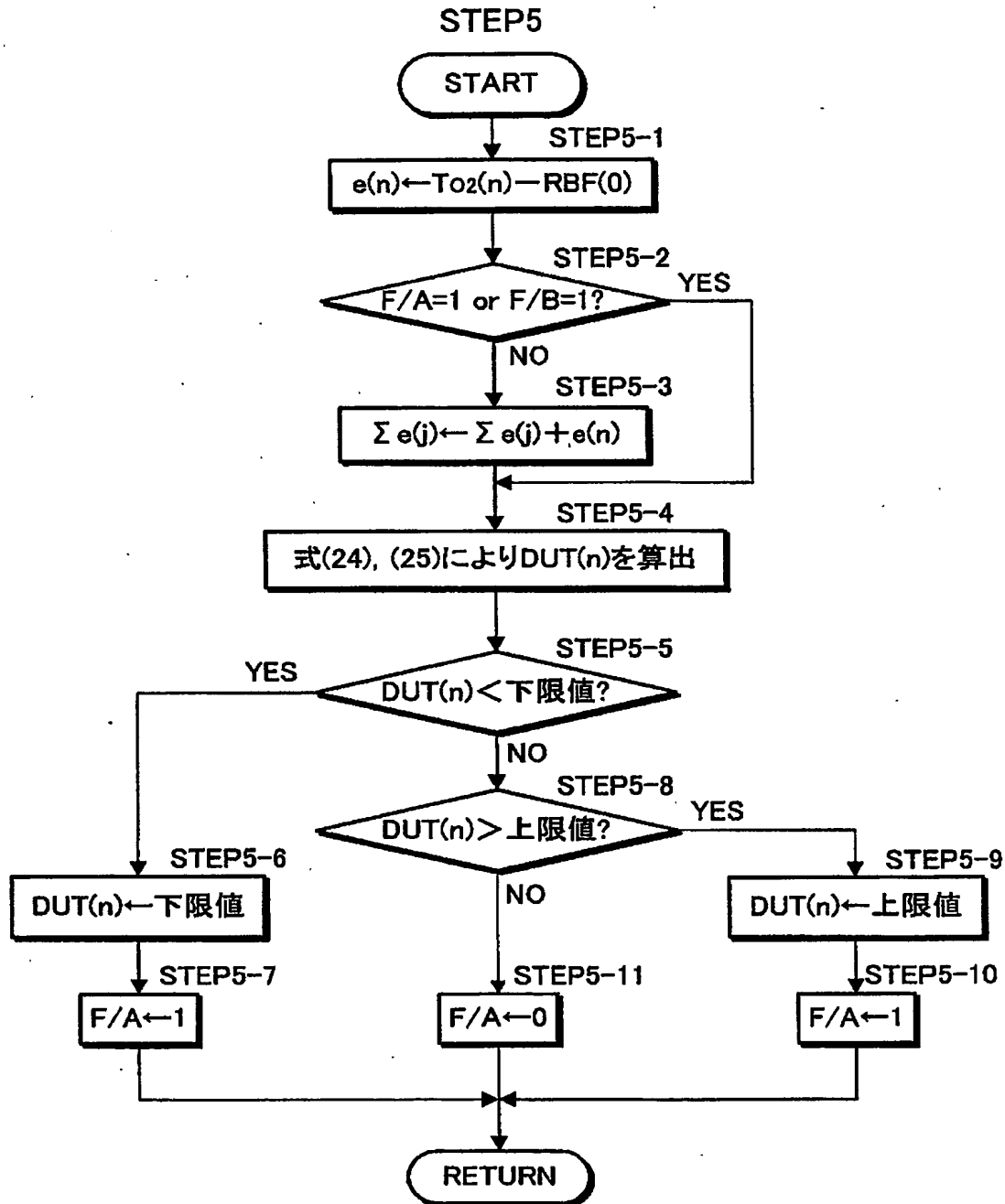
【図9】

FIG.9



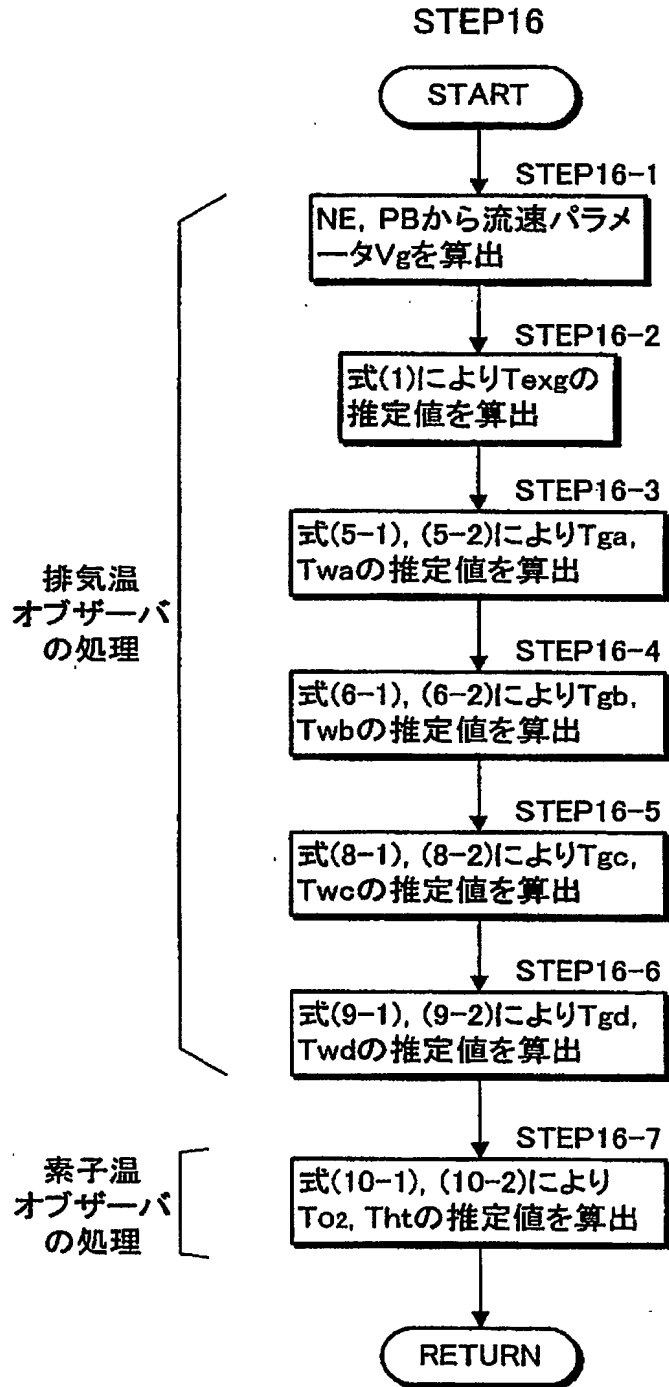
【図10】

FIG.10



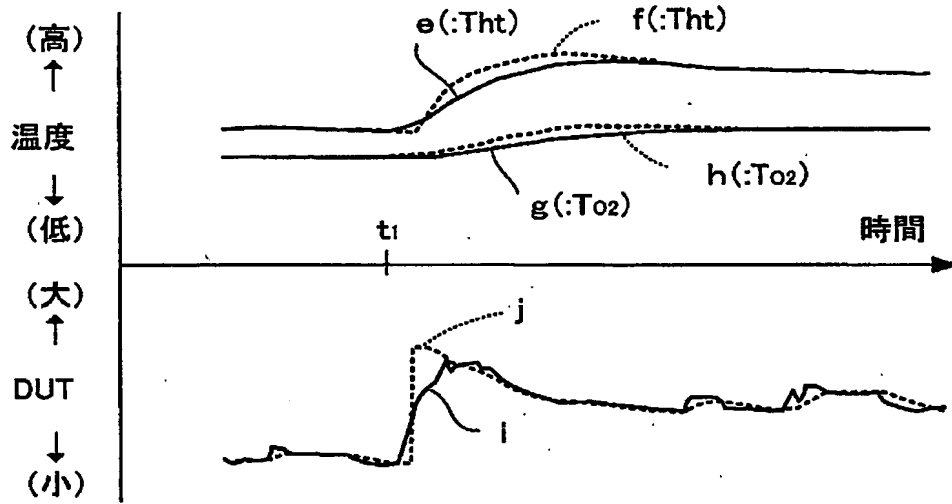
【図11】

FIG.11



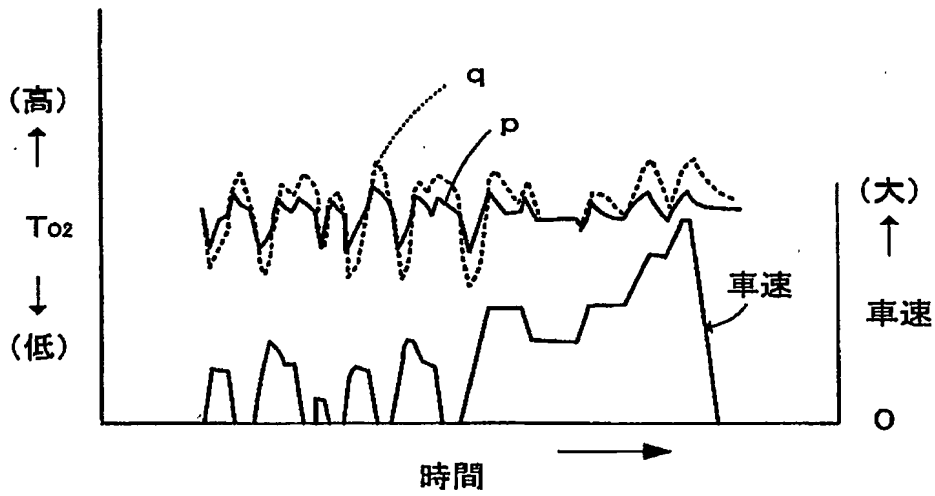
【図 1 2】

FIG.12

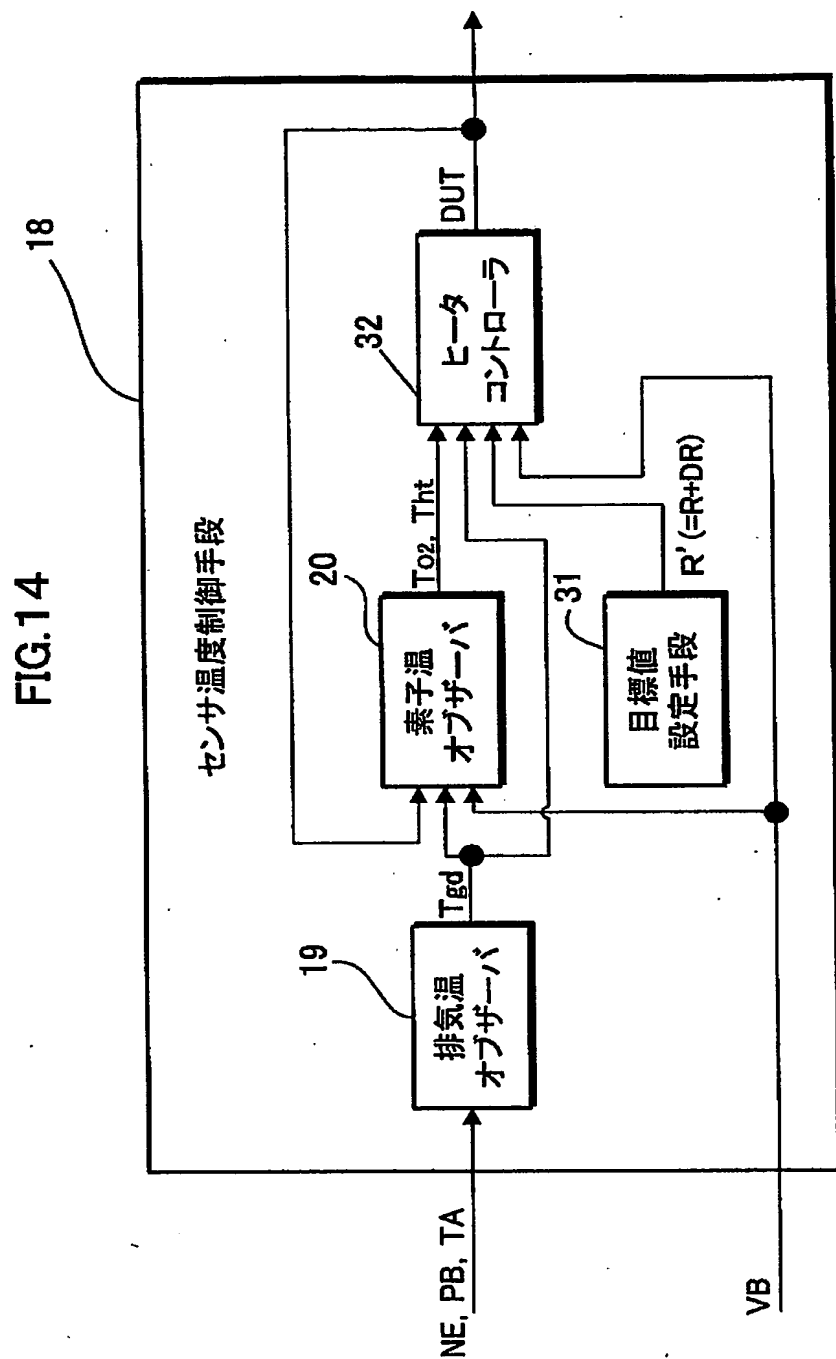


【図 1 3】

FIG.13



【図14】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 排ガスセンサの素子部の温度を安定して所望の温度に制御することができ
る排ガスセンサの温度制御装置を提供する。

【解決手段】 排ガスセンサ 8 の素子部 1 0 を加熱するヒータ 1 3 を操作するための
制御入力DUTに、素子部 1 0 の温度データと目標温度との偏差に応じた成分の
他、ヒータ 1 3 の温度データに応じた成分、排ガスの温度データに応じた成分、
目標温度に応じた成分、素子部 1 0 の温度データに応じた成分のうちの少なくと
も一つ以上の成分を含める。制御入力は、最適制御アルゴリズムにより求める。
排ガスの温度に応じた成分と目標温度に応じた成分は、予見制御のアルゴリズム
に基づいて求める。

【選択図】 図 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000005326]

1. 変更年月日	1990年 9月 6日
[変更理由]	新規登録
住 所	東京都港区南青山二丁目1番1号
氏 名	本田技研工業株式会社